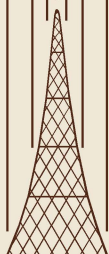
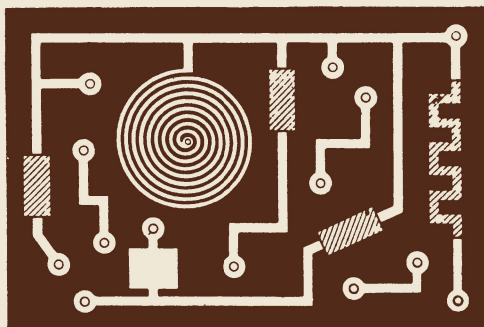


МАССОВАЯ
РАДИО-
БИБЛИОТЕКА



Е. А. ЛЕВИТИН

**Н О В О Е
В ИЗГОТОВЛЕНИИ
РАДИОАППАРАТУРЫ**



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

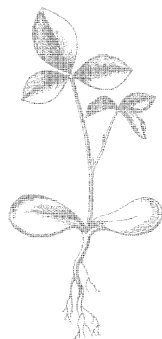
МАССОВАЯ БИБЛИОТЕКА
РАДИО

ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА А. И. БЕРГА

Выпуск 139

Е. А. ЛЕВИТИН

НОВОЕ
В ИЗГОТОВЛЕНИИ
РАДИОАППАРАТУРЫ



Scan AAW



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1952 ЛЕНИНГРАД

В брошюре списывается новый принцип конструирования и изготовления радиоаппаратуры, дающий возможность значительного сокращения ее габаритов и получивший название метода печатных схем. Приводятся описания некоторых способов изготовления аппаратуры по этому методу, представляющих интерес для широких кругов читателей, следящих за состоянием современной радиотехники, и для радиолюбителей-конструкторов, экспериментирующих в этой области.

Редактор Б. Н. Можжевелов

Техн. редактор Г. Е. Ларионов

Сдано в пр-во 25/XII 1951 г.

Подписано к печати 20/III 1952 г.

Бумага $84 \times 108 \frac{1}{32} = 1 \frac{1}{8}$ бумажных—3,69 п. л.

Уч.-изд. л. 4,2

T-02068

Тираж 15 000 экз.

Заказ № 1466

ПРЕДИСЛОВИЕ

Техника изготовления радиоаппаратуры достигла в наши дни высокой степени совершенства. Однако на пути своего дальнейшего развития радиопромышленность все более сталкивается с требованиями удешевления производства, уменьшения габаритов и весов аппаратуры и повышения ее эксплуатационной стойкости.

Одним из таких путей, коренным образом отличающихся от общепринятых до настоящего времени, является переход к новым методам конструирования и изготовления радиоаппаратуры, получившим название методов печатных схем.

Это новое направление в области создания радиоаппаратуры открывает широкие возможности для дальнейшего ее совершенствования и упрощает процесс ее изготовления, особенно в части сборочных и электромонтажных работ, которые смогут быть перестроены по совершенно новому принципу, основанному на широком применении механизации и автоматизации сборочных и электромонтажных работ.

Брошюра имеет своей целью ознакомить читателя с основными направлениями в этой новой и передовой области техники, которая характеризуется своеобразной технологией, резко отличной от общепринятых в настоящее время методов изготовления подобной аппаратуры, и должна представить интерес для широких кругов читателей, интересующихся состоянием современной радиотехники.

Применение метода печатных схем целесообразно практически лишь при массовом изготовлении радиоаппаратуры. Не исключена, однако, возможность того, что отдельные радиолюбители-конструкторы могут поставить перед собой задачу разработать и предложить для промышленного изготовления конструкции компактной аппаратуры, рассчитанной на изготовление печатным способом. Для таких читателей следует отметить, что данная брошюра носит описательный характер и в задачи ее не входит изложение рецептуры для самостоятельного изготовления радиоаппаратуры методом печатных схем в любительских условиях.

Автор

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Введение	5
Нанесение металлизированного рисунка схемы	11
Токопроводящие краски	11
Разбрызгивание металла	21
Вакуумные методы нанесения металла	24
Химическое осаждение металла	27
Метод травления металла	30
Штампование из металла	31
Напыление металлических порошков	34
Нанесение сопротивлений	35
Конструирование монтажной схемы	39
Конструирование катушек	44
Конструирование конденсаторов	50
Конструирование сопротивлений	55
Автоматизация производства	59
Примеры аппаратуры, изготовленной методом печатания	62
Заключение	70
Литература	72

ВВЕДЕНИЕ

Радиотехника относится к числу наиболее молодых отраслей современной техники. Однако развитие ее шло столь бурными темпами и возможности ее применения оказались столь многообразными, что она проникла в самые различные области народного хозяйства.

Использование радиотехники далеко не ограничивается целями радиосвязи и радиовещания. В наши дни получили развитие такие виды техники, как радиолокация, радионавигация, телевидение, высокочастотная обработка металлов и многие другие, не имеющие, казалось бы, ничего общего с техникой радио как средства связи.

Одновременно с развитием областей применения радиотехники шло и развитие радиопромышленности.

Выпуск радиоаппаратуры, и в первую очередь аппаратуры широкого потребления — радиовещательных приемников, осуществляется современными радиозаводами в огромных количествах, измеряемых многими сотнями тысяч штук в год. Совершенно естественно, что такие масштабы производства вели к тому, что одновременно с совершенствованием электрических схем и конструкций радиоаппаратуры непрерывно должны были совершенствоваться и методы ее изготовления.

Особенно наглядно это можно видеть на примере развития и совершенствования наиболее массового вида радиоаппаратуры — радиовещательных приемников.

С конструктивной и производственно-технологической стороны радиоприемник представляет комбинацию различных элементов, называемых узлами и деталями, которые изготавливаются в отдельности, размещаются на общем основании, называемом обычно «шасси», и соединяются между собой определенным образом в соответствии с электрической схемой приемника.

Первые радиодетали, применявшиеся для этой цели — сопротивления, конденсаторы, трансформаторы и т. п., вы-

полнялись так, что соединение их между собой осуществлялось главным образом с помощью винтов, гаек и других зажимных приспособлений. Такой способ соединения, не говоря уже о сложности изготовления крепящих приспособлений, давал в то же время недостаточно надежный контакт между соединяемыми деталями.

Одним из мероприятий, резко упростившим монтажные операции, был переход к осуществлению электрических соединений между деталями при помощи пайки. Применение электрических паяльников позволило быстро производить силами одного человека большое число паяк, обеспечивая при этом прочный и надежный контакт в местах соединений.

Дальнейшим развитием техники сборочных работ на радиозаводах явился переход к конвейерному монтажу, характеризующемуся тем, что монтаж всего радиоприемника разбивается на большое число простейших операций, каждая из которых включает в себе установку нескольких монтажных проводников и пайку их концов к определенным точкам схемы. Шасси с установленными на нем узлами и деталями непрерывно движется от одного оператора к другому, постепенно обрастая все новыми монтажными проводниками, сопротивлениями и конденсаторами, которые впаиваются в схему непосредственно в процессе монтажа. Такой метод производства позволяет осуществить высокопроизводительную работу на сборочных операциях и быстрый монтаж, обеспечивая при этом высокое качество паяк. С монтажной линейки сходит полностью смонтированный приемник, который остается только электрически отрегулировать и установить в футляр.

Таким образом, процесс производства радиоаппаратуры состоит из следующих основных этапов: изготовление простейших элементов — деталей (на производстве деталями называют изделия, состоящие из одного куска материала); сборка из деталей более сложных элементов — узлов (узлом называют изделие, состоящее из нескольких простейших деталей, соединенных вместе, например: катушку, конденсатор, трансформатор и т. п.); установка отдельно изготовленных деталей и узлов на общем основании — шасси; электрический монтаж, т. е. соединение между собой всех узлов и деталей в соответствии с электрической схемой прибора; электрорегулировка собранного и смонтированного приемника.

Работы конструкторов, технологов и передовых рабочих радиопромышленности позволили добиться за последние годы больших успехов в области конструирования и производства радиоаппаратуры.

Однако, двигаясь вперед, радиотехника продолжает изыскивать все новые пути дальнейшего совершенствования как конструкции радиоаппаратуры, так и методов ее изготовления. Радиопромышленность использует лучшие достижения техники производства, применяемые в различных областях аппаратостроения, но наряду с этим имеет возможность вводить в конструкцию аппаратуры и в производственный процесс ее изготовления новые усовершенствования, специфичные именно для этой отрасли техники.

Таким усовершенствованием, ведущим к коренному изменению общепринятых в настоящее время конструкций радиоаппаратуры и методов ее производства, является новый способ изготовления радиоаппаратуры, получивший название метода печатных схем. В этом методе заложен ряд весьма интересных и ценных возможностей, которые обещают дать чрезвычайно существенные преимущества как в отношении эксплуатационных свойств радиоаппаратуры, так и в отношении упрощения и удешевления ее изготовления.

До настоящего времени все виды радиоаппаратуры, так же как и упомянутые ранее радиоприемники, представляли собой устройства, состоящие из большого числа отдельных деталей и узлов — катушек, конденсаторов, переключателей, сопротивлений и т. д., которые изготавливаются каждый в отдельности, а затем устанавливаются на общем шасси, собираются и соединяются между собой на сборочной линейке. Процесс сборочных работ требует больших затрат ручного труда, и это, естественно, удорожает стоимость аппаратуры, изготавливаемой таким образом. Характерной чертой конструкции всех общеупотребительных видов радиоаппаратуры является при этом объемное расположение ее составных элементов и монтажа.

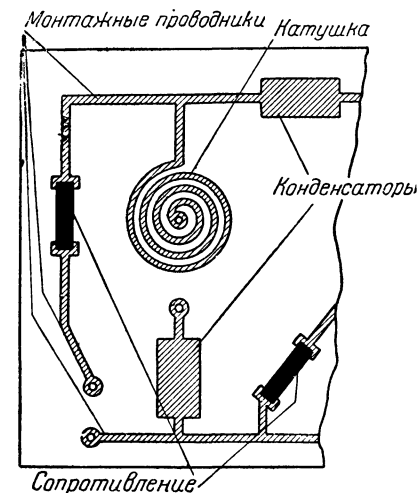
Аппаратура, изготавливаемая методом печатных схем, резко отличается от обычной в первую очередь тем, что осуществляется на базе пластины или платы из изоляционного материала, например керамики или пластмассы, которая является уже не просто поддерживающей или опорной деталью, а представляет по существу основную часть прибора. Непосредственно на поверхность этой платы спосо-

бом, напоминающим печатание рисунков, наносятся все монтажные проводники, имеющие форму узких и тонких металлических линий, непровольные сопротивления, катушки индуктивности, конденсаторы и т. п. Печатание всех этих элементов схемы является составной частью процесса изготовления платы, и в законченном виде такая плата содержит не только монтажные проводники, но и значитель-

ное число готовых типовых деталей.

Катушки в этом случае могут иметь форму плоских спиралей, наносимых непосредственно на изоляционное основание. Индуктивность их определяется диаметром и количеством витков спирали.

Сопротивления наносятся в виде плоской пленки, имеющей форму прямоугольника или более сложной фигуры, и оказываются автоматически соединенными с соответствующими точками схемы в процессе самого печатания ее. Величина



Фиг. 1. Участок изоляционной платы с деталями печатной схемы.

сопротивлений определяется составом краски, из которой состоит пленка, и формой рисунка самого сопротивления.

Конденсаторы в простейшей конструкции могут быть выполнены в виде двух металлических обкладок, напечатанных одна под другой на противоположных сторонах изоляционного основания, материал которого (например, керамика) в этом случае выполняет и роль диэлектрика. Емкость такого конденсатора определяется площадью напечатанных обкладок, толщиной диэлектрика и его диэлектрической проницаемостью.

Все элементы схемы, наносимые методом печатания, оказываются автоматически соединенными между собой надлежащим образом в процессе печатания.

На фиг. 1 изображен участок такой платы с характерными деталями. Поскольку как монтажные проводники, так

и эти детали располагаются, как отмечалось, непосредственно на поверхности изоляционной платы, шасси приобретает уже не привычную для нас объемную трехмерную конструкцию, а плоскую, приближающуюся к двухмерной. Лишь небольшое число элементов, которые не могут быть выполнены в плоскостной конструкции, подключаются к схеме дополнительно. Сюда относятся лампы, силовые и выходные трансформаторы, электролитические конденсаторы, громкоговоритель и т. п.

Аппаратура, выполненная таким образом, оказывается более компактной. По своим размерам она может быть сделана в несколько раз меньше общепринятой в настоящее время. Одновременно с этим резко сокращается трудоемкость ее изготовления в массовых количествах. Применение метода печатных схем позволяет освободиться в производстве от значительной части сборочных операций, выполняемых с помощью ручного труда, механизировать и автоматизировать изготовление радиоаппаратуры.

Уменьшение габаритов аппаратуры сопровождается также и повышением ее механической прочности, поскольку все печатные детали оказываются прочно закрепленными каждой своей точкой на поверхности изоляционной платы. Совершенно очевидно большое значение этого обстоятельства с эксплуатационной точки зрения — печатная аппаратура оказывается значительно более устойчивой в отношении ударов, тряски и других механических воздействий. Уменьшение габаритов ведет, кроме того, к экономии материалов.

Значение нового метода изготовления радиоаппаратуры с производственной точки зрения становится очевидным на примере того, к каким упрощениям электромонтажных работ он приводит.

В настоящее время выполнение монтажных соединений имеет существенный удельный вес в общем объеме работ по изготовлению радиоаппаратуры. При массовом производстве монтажные работы требуют предварительной подготовки проводов, нарезки их и загиба по определенным шаблонам для придания нужной формы, залуживания концов этих проводов, заправки заготовленных проводов в соответствующие отверстия в монтажных лепестках, обкусывания и заправки таким же способом проволочных выводов сопротивлений и конденсаторов и, наконец, запаивания всех полученных таким образом точек соединений.

Даже в самых простых радиоприборах приходится делать около 100 паек, а в более сложной аппаратуре количество паек оказывается значительно больше. Так, например, в радиоприемнике «Москвич» насчитывается 154 пайки, а в телевизоре «КВН-49» — 566 паек.

Новые методы производства позволяют устранить в монтаже до 60% паек.

Этот пример показывает лишь те упрощения, которые связаны с чисто монтажными операциями. Целый ряд существенных упрощений дает и изготовление катушек, конденсаторов и сопротивлений непосредственно на поверхности изоляционного основания радиоприбора.

В настоящее время предложен ряд способов изготовления радиоаппаратуры методом печатных схем. Описание некоторых наиболее интересных и характерных из этих методов, имеющих перспективное значение, и является темой настоящей брошюры, которая имеет своей целью ознакомить читателя с новыми направлениями в области конструирования и изготовления радиоаппаратуры, открывающими широкие возможности в отношении резкого уменьшения размеров аппаратуры и упрощения процесса ее изготовления.

Ниже будут рассмотрены как основные особенности различных способов изготовления аппаратуры, так и некоторые характерные конструкции отдельных ее элементов — катушек, конденсаторов и сопротивлений и целых аппаратов, изготавливаемых методом печатных схем.

Прежде чем переходить к непосредственному описанию этих методов, необходимо отметить, что многообразие их привело к расширению понятия «печатные схемы», которое стало охватывать значительно более широкую область, чем собственно «печатание» в прямом смысле этого слова. Термин «печатание схем» употребляется теперь для обозначения самых разнообразных процессов, используемых для воспроизведения рисунка схемы на поверхности изоляционного основания. Поэтому под «печатными схемами» в настоящее время понимаются самые различные способы изготовления радиоаппаратуры, при которых монтажные проводники и ряд деталей схемы наносятся непосредственно на поверхность основания прибора, представляющего плоскую плату из изоляционного материала (а иногда имеющего и другую конфигурацию), и плотно закрепляются на этой поверхности. Эти способы могут быть основаны на

использовании приемов, известных как из техники полиграфического производства, так и из различных других областей техники, начиная с процессов механической обработки, в частности холодного штампования, и кончая химическими процессами.

Широко используются также и комбинация из различных технологических приемов, например: металлизация пластмассы разбрызгиванием расплавленного металла, последующая механическая обработка поверхности фрезерованием для получения требуемого металлического рисунка монтажной схемы и всех ее металлических элементов, нанесение путем пульверизации через трафарет краски для неметаллических сопротивлений и т. п.

Общей чертой всех применяемых методов печатных схем является то, что, используя принципиально новый конструктивный подход, они позволяют уменьшить размеры радиоаппаратуры, повысить ее механическую стойкость и усовершенствовать производственный процесс — механизировать и автоматизировать его, уменьшить расход материалов, повысить однородность продукции и т. д.

Поскольку количество разнообразных методов, предложенных для изготовления печатных схем, довольно велико, мы ограничимся описанием лишь наиболее характерных вариантов, которые положены в основу большинства других известных способов изготовления аппаратуры по этой новой технологии.

НАНЕСЕНИЕ МЕТАЛЛИЗИРОВАННОГО РИСУНКА СХЕМЫ

ТОКОПРОВОДЯЩИЕ КРАСКИ

Нанесение печатной схемы при посредстве токопроводящих красок относится к числу наиболее распространенных вариантов нового метода изготовления радиоаппаратуры. Токопроводящими красками могут наноситься как металлические элементы схемы — монтажные проводники, катушки, обкладки конденсаторов и т. д., так и неметаллические детали — непроволочные сопротивления. В качестве материала для изоляционного основания при этом методе используется главным образом керамика, а для изготовления металлических элементов используются обычно краски и пасты, содержащие серебро или его соли.

Следует отметить, что практический метод получения серебряных покрытий на поверхности изоляционных материалов из составов, содержащих окись серебра, предложен советским инженером А. И. Фройманом еще в начале 1934 г. Авторское свидетельство на «описание способа нанесения тонких слоев серебра» зарегистрировано на его имя за № 47014 с датой приоритета 25 февраля 1934 г.

Это обстоятельство мы отмечаем потому, что в литературе нередко даются ссылки на авторство в этой области иностранных изобретателей, хотя методика получения тонких слоев металлического серебра термическим восстановлением его окиси, содержащейся в пастах, наносимых на поверхность металлизированных изделий, была предложена в Советском Союзе, как указано выше, еще в 1934 г. и тогда же практически применена для изготовления целого ряда изделий.

Техника нанесения печатной схемы краской, содержащей серебро, является, таким образом, одним из применений этой методики.

Характеристика основных составных элементов токопроводящих красок, используемых в технике печатных схем, приведена в табл. 1.

Принцип печатания металлических элементов схемы заключается в том, что токопроводящей краской наносится на поверхность изоляционного основания рисунок всех этих элементов (т. е. монтажных проводов, катушек, обкладок конденсаторов и т. п.). Краска содержит в своем составе проводящее вещество — металл (чаще всего серебро) или его соли, затем связующее вещество, которое удерживает проводящие частички, и, наконец, растворитель, регулирующий вязкость краски.

После нанесения рисунка керамическая плата вместе с наложенной на нее краской подвергается обжигу при высокой температуре, порядка 800°C ; при этом связующие вещества испаряются или выгорают, а частички серебра сплавляются между собой и прочно сцепляются с поверхностью керамической платы, образуя на ней нужный металлический рисунок. Если в краску входит не чистое серебро, а его соли, то предварительно происходит еще восстановление серебра из солей под действием высокой температуры.

Этот метод находит довольно широкое применение и является одним из наиболее употребительных для изготовле-

Составные элементы токопроводящих красок

Составной элемент	Назначение	Применяемые вещества	
		для проводников	для сопротивлений
Красящее вещество (пигмент)	Проводящий материал	Порошкообразное серебро; окись серебра; азотно-кислое серебро; порошкообразная медь	Газовая сажа; коллоидальный графит; чешуйчатый графит
Связующее вещество	Сцеplяет частицы пигмента между собой и с основанием из изоляционного материала	Льняное масло; хлопковое масло; касторовое масло; лаки; смолы; эфиры целлюлозы Для огнеупорных оснований Борнокислый свинец; кремнекислый свинец; этилсиликат	Фенольно-альдегидные смолы; меламиновые альдегиды; винилитовые смолы; смолы на основе стирола; метакриловые смолы; кремнийорганические смолы (силиконы)
Растворитель	Растворяет связующее вещество, получаемое в твердом виде, и регулирует вязкость растворов	Хлороорганические растворители (дихлорэтан, хлороформ и др.); спирты; ароматические соединения (бензол, толуол, ксилол и др.); кетоны (ацетон и др.); ацетаты	
Восстановитель	Преобразует соли металлов в чистые металлы при низких температурах	Формальдегид; сульфат гидразина; гидрат гидразина	—
Наполнитель	Увеличивает электрическое сопротивление путем разделения частиц пигмента	—	Слюда, мука; минералит; асбестовая пыль (свободная от железа)
Защитное покрытие	Защищает от поверхностных повреждений	—	Кремнийорганические лаки; винилитовые лаки; меламино-формальдегидные лаки

ния печатных схем. Ценность его заключается в возможности получения достаточно сложных рисунков и в прочности соединения серебра с поверхностью керамики.

Рассмотрим более детально отдельные элементы технологического процесса по этому методу.

Краска. Как отмечалось, краска обычно имеет в качестве проводящего элемента серебро, выбор которого не случаен. Основная его ценность для данной цели заключается в том, что в отличие от большинства других металлов серебро легко образует стойкие и неокисляющиеся проводящие пленки и, кроме того, даже окислы и продукты коррозии серебра также обладают хорошей проводимостью.

Приведем один из возможных рецептов токопроводящей краски для нанесения металлического рисунка схемы на основание из керамики:

Серебро порошкообразное, тонкоизмельченное (мелкодисперсное)	65%
Эфиры целлюлозы	13%
Тонкораздробленное легкоплавкое стекло	12%
Растворитель типа ацетатов	10%

Связующим веществом в этом составе являются эфиры целлюлозы; мелкораздробленное стекло выполняет роль флюса. Оно плавится при температуре порядка 400°C , а серебро превращается в пленку при более высокой температуре, около $700\text{--}800^{\circ}\text{C}$, причем частички серебра равномерно распределяются по поверхности металлизированного основания и благодаря флюсу плотно пристаю к поверхности. Поэтому после нанесения краски на основание требуется нагрев не ниже указанной температуры, т. е. порядка $750\text{--}800^{\circ}\text{C}$.

Такой состав краски непригоден для пластмасс, так как нагрев их до столь высоких температур недопустим. В этом случае состав краски изменяется и может быть примерно следующим:

Порошкообразное тонкоизмельченное серебро	70%
Метакриловая, фенольная смола или полистирол	20%
Растворитель типа ацетатов	10%

При таком составе краски нагрев требуется до гораздо более низкой температуры — порядка $100\text{--}175^{\circ}\text{C}$ в зависимости от свойств примененной пластмассы. Сила сцепле-

ния краски с основанием из пластмассы оказывается значительно меньше, чем с керамикой; проводимость также оказывается несколько хуже.

В зависимости от способа нанесения краски процент серебра в ее составе может колебаться в довольно широких пределах; состав и вязкость краски подбираются таким образом, чтобы они соответствовали выбранному способу нанесения рисунка.

Опыт показывает, что одного знания рецепта краски недостаточно; для получения высококачественной краски требуется весьма тщательное наблюдение за ее составом в процессе приготовления и пользования ею.

Возможны случаи, когда краска, приготовленная из одинаковых по названию составных элементов, может дать различные результаты. Объяснение такого явления может заключаться в способе смешивания компонент при приготовлении краски, в качестве использованных материалов, в различной степени испарения растворителя и в целом ряде других факторов. Поэтому работы по практическому использованию проводящих красок на производстве сопровождаются обычно специальными лабораторными исследованиями и контролем.

Н а н е с е н и е р и с у н к а. Нанесение рисунка токопроводящими красками может производиться различными способами, например: кистью, разбрызгиванием или накатыванием через трафарет, печатанием на печатных станках, и другими способами, сводящимися к окрашиванию поверхности изоляционного основания. Наиболее широкое применение нашли способы накатывания краски через трафарет и печатание на станках типа применяемых в полиграфической промышленности.

Для первого из этих двух способов одной из наиболее сложных и ответственных частей всего процесса является изготовление трафаретов. Простейший трафарет можно представить себе в виде листа из металла или другого тонкого материала, снабженного прорезями, соответствующими рисунку схемы, который надлежит нанести. Однако трафареты подобного рода в технике печатных схем почти не находят применения, так как с их (трафаретов) помощью возможно было бы нанесение только простейших рисунков. Для нанесения же сложных рисунков (в том числе замкнутых или почти замкнутых кривых линий, спиралей, концентрических окружностей; длинных линий с изгибами и т. п.)

трафареты такой примитивной конструкции непригодны и должны быть изготовлены иначе — на сетчатом основании.

Вкратце процесс изготовления таких трафаретов выглядит следующим образом.

В качестве материала для изготовления трафаретов может быть использована шелковая или металлическая сетка с мелкими ячейками. Чем меньше ячейки, тем более четкий и сложный рисунок может быть получен. Изготовление сетчатых трафаретов производится с помощью фотографической техники. Туго растянутую сетку покрывают слоем тонкой светочувствительной пленки, приготовленной на основе желатина или поливинилового спирта и двуххромовокислого калия. Для получения трафаретов используется свойство такой пленки становиться нерастворимой в воде под действием света. На пленку накладывается фотографический позитив с рисунком печатаемой схемы, который затем облучается сильным источником света, после чего фотопозитив снимается, и сетка промывается в воде или специальном составе. При этом те части светочувствительной пленки, которые не подверглись действию света и не задубились, растворяются и смываются, а на сетке остается пленка в виде трафарета со сквозными отверстиями или щелями. Если на позитивной пластинке все линии схемы были черными, то после описанных операций такие линии на светочувствительной пленке, покрывающей сетку, окажутся растворившимися, т. е. на этих местах ячейки сетки откроются и сетка будет прозрачна. Светочувствительный слой на остальных частях пленки, подвергшийся действию света, задубливается при печатании, и сетка под ним делается, следовательно, непрозрачной.

В результате получается сетчатый трафарет, сквозь который можно наносить краску на изделие, т. е. на изоляционную плату. Для этого трафарет плотно прижимается к поверхности изоляционного основания, и серебряная краска продавливается сквозь него при помощи резинового валика, который прокатывается по трафарету, проталкивая при этом краску сквозь ячейки сетки, не закрытые защитной пленкой. После снятия трафарета на поверхности изоляционного основания остается рисунок схемы, в точности соответствующий рисунку, имевшемуся на трафарете. Необходимо принять меры к тому, чтобы защитную фотопленку не разлагали растворители, содержащиеся в составе краски.

Дальнейшее закрепление металлического рисунка, как уже указывалось, производится путем нагрева керамической платы до температуры, при которой испаряются все связующие вещества, плавится флюс и размягченное серебро прочно сцепляется с поверхностью платы. Сила сцепления серебра с керамикой в значительной мере зависит от качества подготовки поверхности керамики, которая должна быть свободна от всякого рода загрязнений, пыли, грязи, жира и др. Хорошие сорта красок, приготовленных на основе тонкоизмельченного металлического серебра или окиси серебра, могут дать очень прочное сцепление — порядка 200 кг на 1 см.

Описанным способом могут быть нанесены линии монтажа, плоские катушки индуктивности, обкладки конденсаторов, если конструкция последних допускает размещение обкладок непосредственно на керамическом основании.

Достоинство этого метода нанесения токопроводящей краски заключается в том, что он позволяет воспроизводить довольно сложные рисунки схемы и является достаточно экономичным в отношении расхода серебра, так как краска расходуется только на создание нужного рисунка. Процесс нанесения краски поддается механизации.

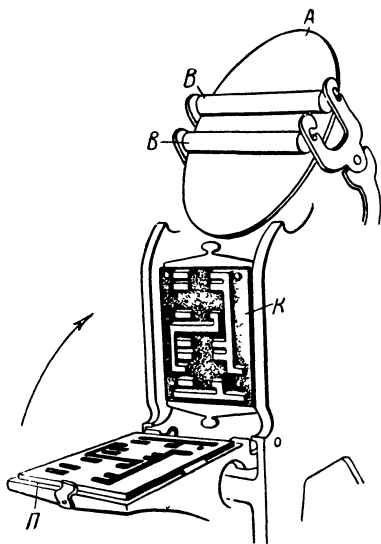
Одним из существенных недостатков, понижающих производительность работы с трафаретами описанного типа, является необходимость частой прочистки их в тех местах, которые забиваются краской в процессе ее накатки. Время, расходуемое на эту вспомогательную операцию, может оказаться соизмеримым с полезным основным временем, затрачиваемым непосредственно на процесс печатания.

Второй из наиболее распространенных методов нанесения рисунка печатной схемы, основанный на использовании техники полиграфического производства, позволяет наносить рисунок в буквальном смысле печатанием.

Следует различать две основных разновидности печатания: в одном случае печатание осуществляется на машине для плоской печати, во втором случае — на машине офсетного типа.

Принцип печатания по первому способу иллюстрируется фиг. 2, на которой показана схема устройства простейшей печатной машины, приспособленной для печатания схем. Проводящая краска наносится на диск *A*; валики *B* из эластичного материала прокатываются сначала по этому диску

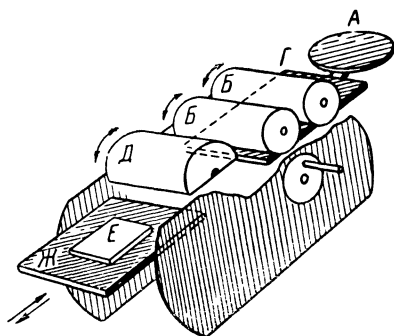
сверху вниз и набирают на себя слой краски. Затем, продолжая движение вниз, эти валики переносят краску на металлическую форму — плоское клише *К*, и, закончив эту операцию, снова поднимаются вверх на диск с краской. В это время плита *П* с укрепленной на ней изоляционной платой поднимается, плита плотно прижимается к клише, и рисунок отпечатывается на ее поверхности.



Фиг. 2. Схема устройства простого станка для печатания схем.

Печатные машины такого типа могут наносить с одного раза слой серебряной краски небольшой толщины — порядка 0,05—0,08 мм.

Для увеличения толщины слоя краски, а вместе с тем и проводимости схемы процесс печатания может быть повторен. Производительность этого метода печатания схем может быть сделана достаточно высокой. Существенным его недостатком является необходимость иметь исключительно ровную поверхность изоляционных плат, так как иначе отпечаток схемы может получиться прерывистым, с пробелами в местах, которые не прилегали плотно к клише (например, в местах с прогибами).



Фиг. 3. Схема устройства офсетного станка для печатания схем.

Офсетный способ печати отличается от только что описанного тем, что рисунок переносится на изоляционную

плату не непосредственно с печатной формы, а с помощью промежуточного резинового валика. Устройство простейшего офсетного станка ясно из фиг. 3. Принцип работы

станка следующий: вначале токопроводящая краска, нанесенная на металлический стол *А*, с помощью эластичных валиков *Б* переносится на офсетную форму (клише), которая укрепляется на столе *Г*. Затем валики *Б* отходят, а барабан *Д*, обтянутый специальной мягкой резиной, прокатывается по клише, и при этом рисунок с клише переходит на резину. После этого барабан *Д*, совершая поступательное и вращательное движение уже в обратном направлении, прокатывается по изоляционной плате *Е*, закрепленной на столе *Ж*, и переносит на ее поверхность рисунок схемы.

Таким способом можно печатать сложные рисунки, и производительность процесса печатания может быть сделана весьма высокой; офсетный метод значительно более удобен в производственных условиях для печатания на жестких изоляционных платах, чем описанный выше метод плоской печати.

Рецептура токопроводящих красок, наносимых печатанием на станках, несколько отличается от красок, используемых для нанесения рисунка через трафарет.

Для повышения проводимости металлических линий, нанесенных методом печатания, их можно утолстить путем гальванического наращивания меди. Для этого плата с напечатанной на ней схемой помещается в гальваническую ванну, где на все металлические элементы печатной схемы наращивается слой меди нужной толщины. В случае необходимости поверх меди гальваническим же способом можно нанести слой серебра (надобность в этом может встретиться, например, для катушек).

Из других способов нанесения рисунка схемы токопроводящими красками заслуживает рассмотрения способ декалькомании.

Перенесение рисунков с помощью декалькомании известно давно и применяется довольно широко. Простейшим примером декалькомании являются детские переводные картинки.

Другим примером является облагораживание древесины, осуществляемое посредством переноса на поверхность простой фанеры рисунка ценных пород дерева.

В печатных схемах этот способ осуществляется следующим образом: рисунок схемы серебряной краской наносится вначале каким-либо способом (например, через трафарет

или печатанием) на бумагу специального сорта. Бумага предварительно покрывается декстрином, который образует водорастворимый слой между ее поверхностью и токопроводящей краской. Бумага также выполняет роль вспомогательной подкладки. Поверх напечатанной таким образом схемы наносится тонкая пленка защитного лака, после чего бумажная основа размачивается и удаляется, а весь рисунок схемы остается на лаковой пленке. Затем подготовленная таким образом заготовка накладывается на изоляционное основание радиоприбора так, чтобы внизу оказался слой лака, плотно прижимается к поверхности этого основания, прилипает к нему и прогревается.

Если основание изготовлено из керамики, нагрев производится до температуры порядка 750°C . Состав лаковой пленки и токопроводящих красок подбирается таким образом, чтобы при прогреве произошло прочное схватывание пленки с поверхностью изоляционной платы и чтобы металлические линии рисунка печатной схемы также закрепились и приобрели свои окончательные свойства.

Удобство этого способа заключается в том, что сложный процесс печатания схемы на поверхности платы из твердого изоляционного материала заменяется более простым процессом печатания на бумаге. Последующий перенос рисунка на изоляционное основание оказывается также несложным.

Этот способ позволяет наносить рисунок схемы не только на плоские, но и на цилиндрические поверхности.

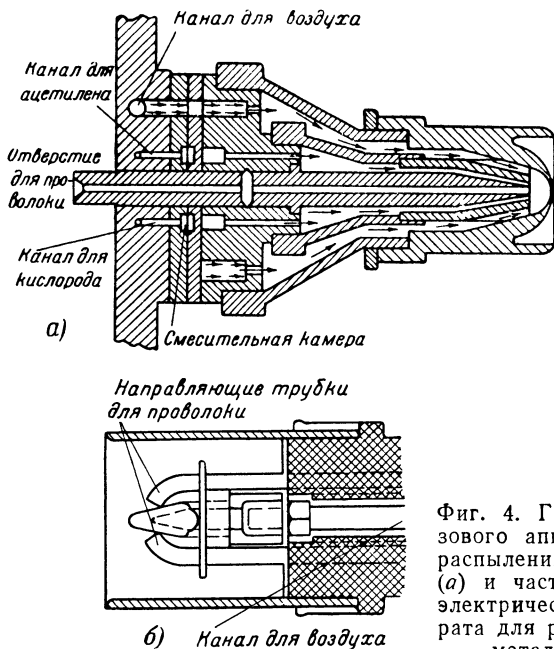
На других способах нанесения металлических элементов рисунка схемы токопроводящей краской мы не останавливаемся подробнее ввиду их меньшей практической ценности.

Можно упомянуть, например, об использовании специальных карандашей и авторучек, наносящих рисунок токопроводящими составами, нанесении токопроводящих красок путем разбрызгивания (пульверизации) через трафарет и т. п.

К вопросу о конструировании и изготовлении методом печатания металлических деталей схемы — катушек и конденсаторов — мы вернемся несколько позднее, а пока продолжим рассмотрение других способов нанесения металлического рисунка схемы.

РАЗБРЫЗГИВАНИЕ МЕТАЛЛА

Нанесение на поверхность изоляционных материалов слоев металла путем разбрызгивания последнего в расплавленном состоянии хорошо известно, и этот метод находит широкое применение в различных областях промышленности¹. Металлизация посредством разбрызгивания металла производится при помощи специальных аппаратов, имею-



Фиг. 4. Головка газового аппарата для распыления металла (а) и часть головки электрического аппарата для распыления металла (б).

щих вид пистолета, в который металл поступает в виде проволоки; внутри пистолета эта проволока плавится, и мельчайшие частички расплавленного металла выбрасываются под действием сжатого воздуха, с силой ударяются о поверхность металлизировемого изоляционного материала и сцепляются с ним. При этом сцепление носит чисто механический характер.

На фиг. 4,а изображен общий вид головки газового, а на фиг. 4,б — электрического пистолета. В газовом аппа-

¹ Иногда этот метод называют „шоопированием“.

рате проволока поступает по центральному каналу; ацетилен и кислород подаются по соответствующим боковым каналам, смешиваются внутри головки пистолета и выходят в сопло в виде горючей смеси, развивающей при горении весьма высокую температуру; проволока плавится в газовом пламени, а сжатый воздух, подаваемый к соплу по нескольким каналам, увлекает расплавленные частички металла и с большой силой ударяет ими о поверхность металлизированного изделия.

Устройство электрического аппарата отличается тем, что плавление металла происходит не в газовом пламени, а в электрической дуге, образуемой двумя проволоками, которые выходят из пистолета и скрещиваются перед его соплом. Струя сжатого воздуха ударяет в дугу и распыляет частички расплавленного металла, из которых она состоит.

Для получения таким методом печатной схемы существует ряд способов. Один из них заключается в том, что на поверхности изоляционной платы вначале через специальный трафарет с помощью пескоструйного аппарата выбиваются канавки, соответствующие рисунку печатной схемы; такие канавки создаются во всех тех местах, где должны лежать проводники. Затем через трафарет или маску с тем же рисунком схемы в эти канавки наносится разбрызгиванием металла — медь, серебро или другой. Охлаждаясь, металл прочно сцепляется с шероховатыми стенками канавок, обработанных предварительно песком, и, таким образом, на поверхности изоляционного основания создается металлический рисунок схемы. Толщина наносимого металлического слоя от 0,05 до 0,125 мм.

Устройство пескоструйного аппарата схематически изображено на фиг. 5.

Перед нанесением металла на изоляционном основании могут быть установлены сопротивления, конденсаторы и другие детали так, чтобы их выводы находились в канавках.

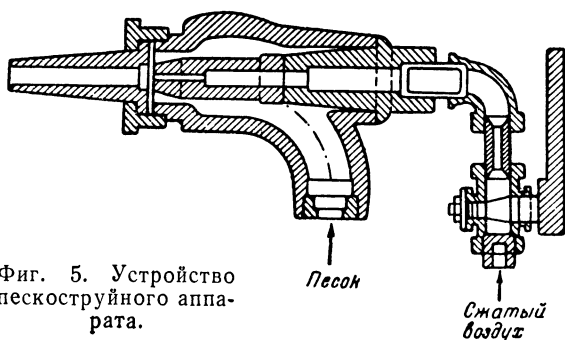
Детали могут быть размещены на противоположной стороне платы или в специальных углублениях. Разбрызгиваемый металл, заполняя канавки, обеспечит одновременно и соединение всех этих деталей с нужными точками печатной схемы.

Разновидностью этого способа с несколько упрощенной технологией является нанесение разбрызгиваемого металла через трафарет непосредственно на поверхность изоляцион-

ного материала, без предварительного создания на ней канавок.

Трафареты для этой цели могут быть изготовлены либо из металла, либо из специальной прочной ленты, покрытой с одной стороны клейким составом и легко пристающей к поверхности изоляционной платы. Такие трафареты или маски изготавливаются штампованием и хорошо защищают обрабатываемую поверхность от песка и разбрызгиваемого металла.

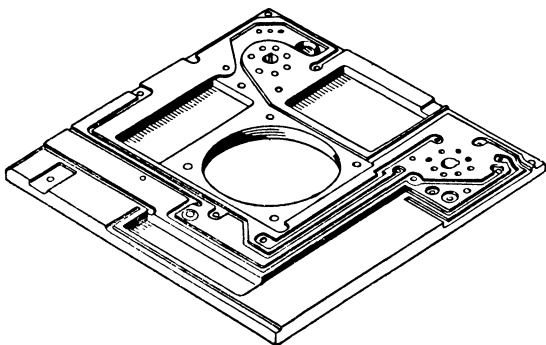
Однако наиболее разработан применительно к условиям массового производства оригинальный метод, коренным об-



Фиг. 5. Устройство пескоструйного аппарата.

разом отличающийся от описанных выше и не требующий никаких трафаретов для нанесения металлического рисунка схемы. Метод этот заключается в следующем. Изоляционное основание изготавливается из пластмассы и представляет плоскую плату, на обеих сторонах которой имеются канавки и углубления, воспроизводящие рисунок печатной схемы. Все эти канавки и углубления получаются без дополнительной обработки, в самом процессе прессования платы, за счет того, что прессформа, в которой происходит прессование, конструируется с расчетом получения такого вдавленного рисунка на обеих плоскостях пластмассовой платы. Примерный вид платы такого рода для небольшого радиовещательного приемника показан на фиг. 6. Изготовленная подобным образом плата подвергается пескоструйной обработке для создания шероховатой поверхности, которая необходима для обеспечения лучшего сцепления с металлом, и далее металлизуется методом разбрызгивания расплавленного металла (меди, цинка и т. п.).

При этом слой металла наносится на всю поверхность платы, как на выступающие, так и на углубленные ее части. Затем плата подвергается обработке фрезерованием, при которой верхний слой пластмассы вместе с нанесенным на нее металлом снимается по всей плоскости, после чего металл остается только в углублениях и канавках. Таким образом, после всех этих операций на поверхности изоляционной платы получается металлизированный рисунок схемы,



Фиг. 6. Изоляционная плата с углубленным рисунком печатной схемы.

состоящий из линий и площадок, представляющих углубления в основной плате. Этим способом могут быть выполнены все металлические элементы печатной схемы — соединительные проводники, спиральные катушки, обкладки конденсаторов, ламели переключателей, контактные лепестки и т. п., причем особенно существенным является то, что для получения рисунка схемы не требуется никаких трафаретов и масок.

ВАКУУМНЫЕ МЕТОДЫ НАНЕСЕНИЯ МЕТАЛЛА

Широко известны два способа нанесения тонких металлических слоев в вакууме — метод катодного распыления и метод вакуумного испарения.

Сущность метода катодного распыления заключается в следующем. В камере, в которой создается вакуум порядка 0,001 мм рт. ст., помещаются два электрода: катод из распыляемого металла в виде проволоки, сетки или тонкого листа и второй металлический электрод — анод. Между катодом и анодом прикладывается напряже-

ние в несколько тысяч вольт (до 20 000 в), причем из самого названия электродов следует, что отрицательный полюс источника соединяется с катодом, а положительный — с анодом. Под действием приложенного высокого напряжения и бомбардировки ионами газа, оставшимися в камере при указанной степени вакуума, из катода вылетают мельчайшие частицы распыленного металла, которые устремляются к аноду. Изделие, на котором нужно создать металлическое покрытие, помещают между катодом и анодом, вблизи анода, на пути летящих к последнему распыленных частичек металла. Для получения методом вакуумного распыления печатных схем обрабатываемое изделие — в данном случае изоляционная плата — помещается обычно на аноде, находящемся под катодом, и закрывается трафаретом, сквозь который распыленный металл осаждается на поверхности платы и образует на ней требуемый рисунок. На самом трафарете также оседает слой металла такой же толщины, но этот металл в дальнейшем может быть снят и снова использован.

Толщина полученной таким способом металлической пленки чрезвычайно мала и для получения металлических линий требуемой проводимости нанесенную вакуумным распылением печатную схему обычно приходится усиливать, т. е. наращивать добавочный слой гальваническим путем.

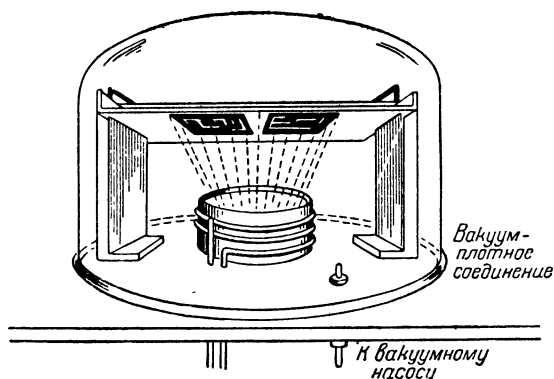
В качестве распыляемого металла может быть использовано серебро, медь или другой металл.

Точность получаемого рисунка схемы определяется качеством изготовления трафарета.

Метод вакуумного испарения сходен с описанным и отличается от него тем, что происходит без применения высокого напряжения. Процесс этот ведется следующим образом. В камеру с более высоким вакуумом (до 10^{-5} мм рт. ст.) помещается металл, из которого создается рисунок схемы, и изоляционная пластина, на которую должна быть нанесена схема. Металл подвергается в вакууме нагреву до температуры испарения, и образующиеся при этом пары его осаждаются на поверхность изоляционной платы сквозь трафарет с нужным рисунком схемы. Нагрев распыляемого металла может быть осуществлен различными способами. Можно, например, тонкие проводочки или полоски из этого металла поместить на рас-

каляемую электрическим током спираль из вольфрама, тантала или другого тугоплавкого материала. Температуру спирали доводят в этом случае до значения, необходимого для испарения выбранного металла.

Другой способ заключается в том, что наносимый металл помещают в тигель, находящийся в вакууме, и плавят его токами высокой частоты, доводя до температуры испарения (фиг. 7). Полученные тем или другим



Фиг. 7. Принцип устройства камеры для получения печатной схемы методом испарения металла в вакууме.

способом пары металла образуют рисунок печатной схемы, причем толщина слоя металла оказывается и в этом случае незначительной, и для создания большей проводимости также приходится пользоваться гальваническим наращиванием дополнительного слоя металла, обычно меди или серебра.

Оба эти способа давно применяются в радиопромышленности для серебрения конденсаторной слюды и пьезокварцевых пластин. В последнее время посредством испарения цинка осуществляется также и металлизация бумаги для бумажных конденсаторов.

Однако для производства радиоаппаратуры методом печатных схем ни вакуумное распыление, ни вакуумное испарение не нашли широкого применения вследствие сложности технологического процесса и необходимого для этой цели оборудования.

ХИМИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ МЕТАЛЛА

Для получения токопроводящих металлических пленок на изоляционном основании химическим путем используется принцип осаждения металла на поверхности изолятора путем восстановления его из растворов солей. При этом обычно применяются растворы солей серебра по типу растворов, находящихся широкое применение для серебрения зеркал, стеклянных колб и т. д. Поскольку этот метод не требует применения высоких температур для закрепления металлического слоя, он допускает использование в качестве материала для изоляционного основания любых диэлектриков и, в частности, нетермостойких пластмасс типа карболитов, органического стекла (плексигласа), полистирола и др., а также стекла.

Один из возможных способов получения металлического рисунка печатной схемы по этому принципу заключается в следующем: готовится серебящий раствор азотно-кислого серебра с добавлением аммония. Этот раствор перед серебрением смешивается с другим раствором (с так называемым восстановителем), который может быть изготовлен из водного раствора обычного сахара, нагреваемого длительное время с добавлением азотной кислоты. Из полученной смеси на плату может быть осажден металл — серебро. Для этого на поверхность платы накладывается плотно прилегающий трафарет с изображением требуемого рисунка схемы, на который наливается описанная смесь. Серебро, осаждающееся из смеси, отлагается равномерно на поверхности платы в тех местах трафарета, где в нем имеются отверстия. Через некоторое время жидкость сливается, и на изоляционной плате остается нужное изображение схемы, сделанное серебром. Слой полученного таким образом серебра оказывается чрезвычайно тонким — порядка одного микрона. Пленку можно сделать толще, наращивая на нее металл гальваническим путем.

Связь металла с поверхностью изолятора оказывается в данном случае чисто механической, и для получения хорошего сцепления поверхность изоляционного основания необходимо предварительно подвергнуть химической или механической обработке для создания шероховатости.

В качестве химической обработки может быть использовано химическое травление, в качестве механической —

пескоструйная обработка. После этого поверхность изолятора должна быть тщательно очищена от возможных загрязнений, ибо наличие последних пагубно отражается на качестве сцепления металла с изолятором.

Описанная выше технология нанесения рисунка печатной схемы оказывается, однако, малопригодной для условий массового производства вследствие больших трудностей, связанных с изготовлением и использованием плотно прилегающими трафаретами.

Значительно более совершенным является способ получения плотнопристающих металлических покрытий и рисунков на изоляционных основаниях, предложенный советскими специалистами. Этот способ позволяет, как указывают авторы в своей статье, опубликованной в 1940 г.*, и в описании изобретения к авторскому свидетельству «значительно упростить и удешевить монтаж различных схем и производство электротехнических изделий и экономит значительное количество меди. Так, например, в различных радиотехнических схемах контакт между отдельными элементами схемы может быть осуществлен металлизированным рисунком на изоляторе, например пластинке из любой пластмассы, на которой собирается схема, вместо медного провода, соединяемого контактными зажимами и нуждающегося в спаивании».

Сущность этого метода, позволяющего наносить рисунок схемы не серебром, а более дешевым материалом — медью, заключается в общих чертах в следующем: тщательно обработанная пескоструйным способом и очищенная панель из пластмассы погружается на несколько минут в 1%-ный раствор азотнокислого серебра в смеси воды и спирта, а затем, после высушивания — в свежеприготовленную смесь раствора, содержащего медь с восстановителем и формалином. Состав раствора для меднения: 1 л 3%-ного раствора медного купороса, содержащего 20 см³ концентрированного аммиака и 70—80 см³ глицерина; 400 см³ 9%-ного раствора щелочи. К этому раствору добавляется 200 см³ восстановителя и 80 см³ формалина.

* Д. С. Абрамсон, Получение плотнопристающего металлического покрытия на изоляционных основаниях, „Промышленность органической химии“, т. VII, № 11, ноябрь 1940 г. Авторское свидетельство № 59791 кл. 32 в, 10; 48 а, 2 на имя Д. С. Абрамсон и И. О. Кабаковой по авторской заявке № 29439 от 31 января 1940 г.

Восстановитель представляет раствор 100 г сахара в 250 см³ воды, к которому прибавляется 0,5 см³ концентрированной азотной кислоты; раствор подвергается продолжительному нагреванию и затем разбавляется водой до объема 1 250 см³.

После погружения на 15—18 мин. в подогретую смесь этих растворов изоляционная пластинка покрывается тонким сплошным медным слоем. Особенность нанесения рисунка по данному методу заключается в том, что методом химического осаждения создается не рисунок, а покрывается вся поверхность изоляционного основания; нужный рисунок наносится уже затем на слой химически осажденной меди краской или нитролаком. Нанесение или печатание рисунка краской может быть осуществлено самыми различными способами. Затем, после высушивания краски, омедненная плата с нанесенным на нее рисунком схемы помещается на 1 мин. в 15%-ный раствор азотной кислоты. При этом растворяется проводящий медный слой на всей поверхности, не защищенной краской, и медь остается только под краской в местах, закрытых последней.

Затем плату промывают и растворяют краску или лак в соответствующем растворителе. После этого на поверхности платы остается металлизированный рисунок нужной схемы, нанесенный ранее краской. Толщина металла крайне незначительна, порядка 1 микрона. Поскольку проводимость этого тонкого слоя меди весьма невелика, далее производится наращивание в гальванической ванне на полученный рисунок слоя меди требуемой толщины. В случае необходимости может быть осуществлено и гальваническое серебрение рисунка.

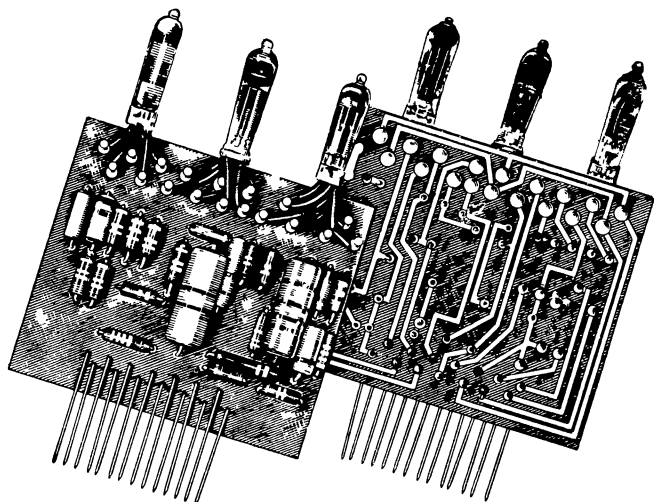
Таким путем могут быть получены все проводящие детали схемы — монтажные линии, плоские катушки, обкладки конденсаторов, ламели переключателей и т. п. Этот процесс, как указывают авторы в упомянутой статье, был проверен в ползаводском масштабе на некоторых заводах в применении к радиоаппаратуре и бытовым предметам и дал хорошие результаты. Это достаточно убедительно доказывает, что печатные схемы в радиоаппаратуре были осуществлены в Советском Союзе впервые задолго до того, как появились первые описания такой аппаратуры в иностранной литературе (1946 г.).

Этот вариант изготовления печатных схем методом химического осаждения металла свободен от недостатков, свойственных аналогичному методу, описанному ранее (в начале настоящего раздела), и пригоден для промышленного использования.

МЕТОД ТРАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛА

Некоторое сходство с описанным методом нанесения рисунка схемы при помощи изоляционной краски и последующего травления металла имеет следующий способ. На пластинку из изоляционного материала (пластмассы), представляющую основание прибора, наклеивается под прессом лист тонкой медной фольги толщиной порядка 0,1 мм. На эту фольгу фотоспособом наносится нужный рисунок схемы. Эта часть процесса сходна с описанным ранее процессом изготовления трафаретов и заключается в том, что поверхность медной фольги покрывается светочувствительной эмульсией и затем через черно-белый негатив, на котором схема изображена в виде прозрачных линий, печатается рисунок схемы; таким образом, свет проходит в тех местах, которые должны быть покрыты металлом. Эмульсия в этих местах проявляется, дополнительно обрабатывается и становится нерастворимой в воде, а на остальной части поверхности, где свет не прошел, эмульсия легко смывается водой. Таким образом, после проявления на поверхности медной фольги остается рисунок схемы, образованный фотоэмульсией, подвергшейся действию света. Состав эмульсии подбирается так, чтобы она обладала необходимой кислотоупорностью. Затем изоляционная пластинка с наклеенной на нее медной фольгой опускается в раствор, в котором незащищенная эмульсией медь стравливается; металл остается только под эмульсией. После промывки и снятия при помощи специального растворителя задубленной фотоэмульсии на поверхности изоляционной платы остается металлический рисунок схемы, который может содержать все соединительные токопроводящие линии, плоские катушки, контакты переключателей и т. п. Получаемый таким способом металлический рисунок может быть выполнен с большой степенью точности. Видоизменением этого способа будет получение изображения схемы не фотографическим путем, а печатным, посредством нанесения нужного рисунка кислотоупорной краской, выдерживающей действие травящего состава.

Слой металла получается достаточно толстым; никакого дополнительного гальванического наращивания не требуется. Навесные детали — сопротивления, конденсаторы и др. — припаиваются непосредственно к металлическому рисунку.



Фиг. 8. Трехламповый прибор с монтажной схемой, изготовленной методом травли металла.

На фиг. 8 показан образец трехлампового прибора, изготовленного по описываемому методу. Монтаж здесь выполнен на одной стороне платы, а детали размещены на обратной ее стороне.

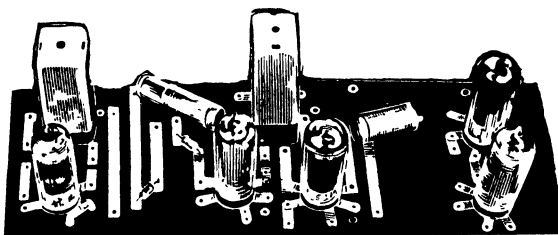
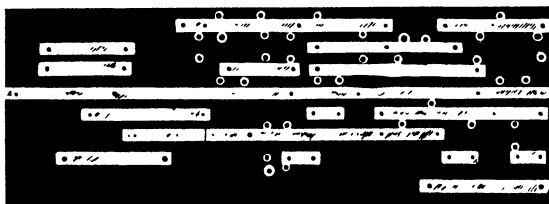
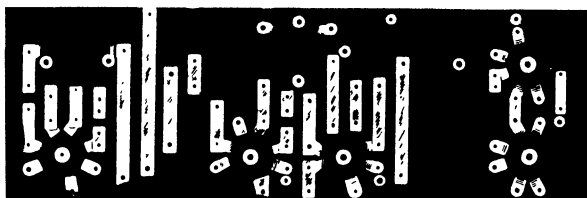
ШТАМПОВАНИЕ ИЗ МЕТАЛЛА

Метод штампования используется в различных вариантах для нанесения токопроводящих элементов схемы на поверхность основания из пластмассы. Большинство этих вариантов заимствовано в своих основных чертах из других областей производства. Некоторые разновидности этого метода используют технику, сходную с полиграфической, а именно: на поверхность основания из пластмассы накладывается лист тонкой металлической фольги, например серебряной, золотой или из другого хорошо проводящего металла, толщиной до 0,05 мм. Нужный рисунок печатной схемы, включающий как токопроводящие монтажные линии, так и катушки, наносится посредством гравирования

на металлический штамп. Штамп этот, нагретый до необходимой температуры, давит на фольгу и впрессовывает ее в пластмассу. В тех местах, где штамп давит, фольга прочно скрепляется с поверхностью пластмассы, а в остальных местах легко счищается. После этого на поверхности изоляционной платы остается металлический рисунок схемы, обладающий хорошей проводимостью. Остальные детали схемы, не изготавливаемые печатным методом, могут быть припаяны к нанесенным таким способом проводникам.

В других вариантах этого метода используется штампование проводящих элементов печатной схемы из более толстой металлической фольги, обычно медной, толщиной порядка 0,1—0,12 мм. Процесс в этом случае осуществляется иначе. Медная фольга предварительно лудится и покрывается с одной стороны термопластическим клеем — цементом. Под штамп помещают плату из пластмассы, на которую сверху накладывается медная фольга, слоем клея к пластмассе. Нагретый до температуры 105—110° С штамп при ударе производит одновременно несколько действий: во-первых, вырубает из медной фольги полосы и другие детали, соответствующие нужному рисунку схемы, во-вторых, загибает слегка края у вырубленных деталей и впрессовывает их в пластмассу, в-третьих, разогревает пластмассу и клей, которым покрыта нижняя поверхность фольги. При этом, кроме механического закрепления, происходит также и приклеивание вырубленных металлических деталей к поверхности изоляционной платы, что придает добавочную прочность сцеплению металла с пластмассой. Незапрессованные и несклеенные части металлической фольги затем удаляются, и на поверхности изоляционного основания остается нужный металлический рисунок. Подобным же образом на другом штампе выштамповываются и запрессовываются металлические детали на вторую сторону изоляционной платы. Монтажные линии на одной стороне располагаются параллельно друг другу и вертикально, а на другой стороне — горизонтально (т. е. поперек и вдоль платы), и таким образом, оказывается возможным проводить монтажные линии в любом направлении без взаимного пересечения проводников (фиг. 9). Соединение между горизонтальными проводниками, находящимися на одной стороне платы, и вертикальными, находящимися на другой ее стороне, производится путем пробивки в плате отверстия в нужном месте и соединения проводни-

ков между собой с помощью пистона или заклепки. Этот процесс осуществляется также механизированным способом: специальный дыропробивной штамп пробивает отверстия диаметром порядка 2,5 мм в необходимых местах



Фиг. 9. Монтажная схема, выштампованная из металла.
а — верхняя сторона; *б* — нижняя сторона; *в* — полностью смонтированная плата.

сразу сквозь медь и пластмассу, а на другом прессе происходят запрессовка и развальцовка пустотелых заклепок (пистонов), поступающих ручьями из соответствующих бункеров. В эти пистоны в дальнейшем закладываются прово-

лочные выводы навесных деталей — сопротивлений, конденсаторов, катушек, трансформаторов и т. п. Лампы и другие съемные узлы вставляются в гнезда, которые закрепляются на панели и соединяются со штампованным монтажем.

Пресс, выштамповывающий и запрессовывающий металлические детали из медной фольги, обрабатывает до 20 плат в минуту и дает возможность получить путем штампования до 80—90 % монтажных проводников, которые при обычных методах производства радиоаппаратуры заготавливаются и закрепляются с помощью ручных операций. Штампованный монтаж отличается исключительной прочностью и однородностью. Подобным образом могут быть изготовлены не только монтажные проводники, но и многие контактные элементы схемы, а также катушки.

В целом ряде случаев штампованный монтаж оказывается вполне оправданным с технической стороны. Вопрос о целесообразности его применения определяется, главным образом, экономическими соображениями.

НАПЫЛЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ

Этот метод создания печатных схем заключается в следующем: через трафарет или каким-либо иным способом на поверхность изоляционного основания наносится клейким лаком или другим клейким связующим веществом рисунок схемы. Пока связующее вещество еще не потеряло своих клейких свойств, вся поверхность платы посыпается мелким металлическим порошком (например, серебряным). Затем, после снятия с поверхности излишков порошка, не приставших к клейкому рисунку, плату подвергают нагреву, при котором связующее вещество выпаривается, а металлический порошок прочно сплавляется с поверхностью платы. Плата в этом случае должна выдерживать высокую температуру и может быть выполнена, например, из керамики.

Другой вариант нанесения металлических порошков заключается в том, что клеящим веществом покрывается вся поверхность изоляционной платы, на которую затем накладывается трафарет с изображением рисунка схемы. Этот трафарет посыпается серебряным порошком, который после снятия трафарета образует нужный металлизированный рисунок. Далее производится выпаривание связующих веществ, как указывалось выше. Широкого распространения этот способ не нашел.

Описанные методы изготовления металлических элементов печатной схемы не исчерпывают всех возможностей в этом отношении, но являются наиболее характерными для техники печатных схем; другие известные в настоящее время способы представляют в основном лишь некоторые видоизменения описанных методов или комбинации из них.

НАНЕСЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Вопрос о печатании сопротивлений является одним из наиболее сложных в технике печатных схем и в значительной мере определяет целесообразность практического применения этого метода в целом ряде случаев. Здесь приходится считаться с необходимостью выполнения, в первую очередь, двух весьма тяжелых требований: а) достаточной эксплуатационной устойчивости сопротивлений и б) достаточной точности получения номинальных значений сопротивлений. Выполнение обоих этих требований в условиях массового производства сопряжено со значительными трудностями.

Наибольшее распространение получил способ изготовления печатных сопротивлений красками, содержащими в том или ином виде углерод (графит и сажу).

Примерный состав красок для сопротивлений приведен в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Состав красок для сопротивлений

Порядок величины сопротивления	Краситель, %	Связующее вещество, %	Растворитель, %	Температура запекания, °C
1 000 <i>ом</i>	Графит — 38	Кремнийорганическая смола — 62	—	275
5 000 <i>ом</i>	Сажа — 4 Графит — 19	Кремнийорганическая смола — 77	—	275
25 000 <i>ом</i>	Сажа — 12 Графит — 38	Фенольная смола — 17	Разбавитель для фенольной смолы — 33 Бензол — 22	175
25 000—50 000 <i>ом</i>	Сажа — 4	Кремнийорганическая смола — 74		275
50 000 <i>ом</i> — 10 <i>мгом</i>	Сажа — 11 Графит — 23	Этилцеллюлозный лак — 66	—	50

Из каждого состава могут быть получены значения разных номиналов путем подбора толщины пленки и ее площади. Нанесение пленки может быть осуществлено путем накатки валиком через трафарет, печатанием на станке и пульверизацией. Необходимо отметить, что в данном случае как процесс печатания, так и процесс дальнейшей обработки требуют исключительно высокой тщательности и культуры производства. Так, например, в случае печатания сопротивлений накаткой через трафарет давление и скорость движения валика с краской и колебания в составе самой краски могут весьма резко отразиться на величине получаемых сопротивлений. При нанесении краски распылением исключительное значение имеют давление воздуха в пульверизаторе, постоянство густоты краски и длительность пребывания платы с трафаретом под пульверизатором.

Сопротивления наносятся на изоляционное основание после того, как отпечатаны все металлические проводники и линии; рисунок схемы должен предусматривать подведение металлических линий к местам расположения сопротивлений.

Один из возможных вариантов простейшего станка для этой цели имеет следующее устройство. Трафарет закрепляется жестко, а обрабатываемая плата устанавливается на подъемном столе, который в нужный момент поднимается и прижимает плату снизу к трафарету. Валик с краской прокатывается сверху по трафарету и наносит сквозь него на плату рисунок всех печатаемых сопротивлений. Давление валика и расстояние оси его вращения от трафарета поддерживаются в строгих допусках для обеспечения достаточной степени однородности сопротивлений.

Весьма большое значение в отношении однородности и точности величины сопротивления имеют качество трафарета и его способность плотно прилегать к поверхности изоляционной пластины. Трафареты из шелковой или металлической сетки дают вполне удовлетворительные результаты; трафареты, изготовленные из бумаги, дают худшие результаты, хотя их можно сделать также плотно прилегающими к обрабатываемому изделию.

Нанесение сопротивлений как печатанием, так и пульверизацией может быть в высокой степени механизировано и автоматизировано.

Следует отметить, что печатание любым способом не обеспечивает получения особо высокой точности номинальных значений сопротивлений вследствие большого числа факторов, влияющих на величину сопротивления.

Для получения повышенной точности величину изготовленного печатным образом сопротивления можно подгонять с помощью дополнительных операций. Для уменьшения значения сопротивления можно наносить кисточкой или другим способом добавочный слой покрытия, т. е. увеличивать толщину пленки, а для увеличения полученного значения можно опиливать сопротивление по краям или шлифовать его. Для этой цели используется устройство по типу зубообрабатывающей бормашины с быстро вращающимся абразивным диском. Однако, такая ручная подгонка сопротивлений для массового производства крайне нежелательна, и процесс их изготовления стремятся построить так, чтобы печатание, сушка и запекание сопротивлений могли быть полностью автоматизированы.

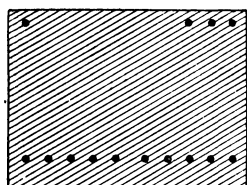
Напечатанные сопротивления подвергаются сушке при повышенной температуре; в процессе сушки должно произойти запекание или полимеризация связующего вещества, после чего сопротивление приобретает окончательное состояние и необходимую устойчивость.

Для сушки и запекания сопротивлений требуется довольно высокая температура. В случае печатания на керамическом основании этот вопрос не вызывает затруднений, и можно допускать нагрев до $200\text{--}250^{\circ}\text{C}$, требуемый некоторыми составами связующих веществ, входящих в краску. При использовании пластмассового основания такую температуру применять нельзя, и приходится подбирать связующие вещества, позволяющие ограничиваться нагревом до $100\text{--}150^{\circ}\text{C}$. Однако, чем выше температура сушки, тем устойчивее, как правило, получаются сопротивления.

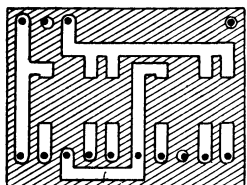
Подобным же образом могут быть изготовлены и переменные сопротивления. Токопроводящая «подковка» печатается на поверхности изоляционной платы, а вращающаяся контактная щетка изготавливается отдельно и затем монтируется на плате. Проводник, соединяющий трущуюся щетку со схемой, печатается одновременно с остальными монтажными линиями.

Все печатные сопротивления в процессе печатания оказываются автоматически соединенными с нужными

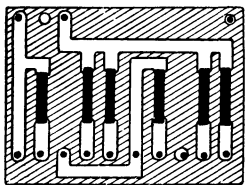
точками схемы, так как для них, как уже указывалось, заранее предусматривается печатание необходимых монтажных проводников, на которые накладываются сопротивления. На фиг. 10 изображены последовательные стадии нанесения монтажа и сопротивлений на керамическую плату.



а)



б)



в)

Фиг. 10. Керамическая плата (а), серебряные монтажные линии на ней (б) и сопротивления (в).

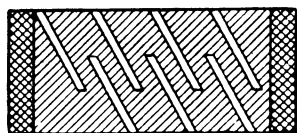
Другой способ изготовления сопротивлений заключается в том, что они печатаются на отдельной тонкой ленте из изоляционного материала, выштамповываются из нее и затем накладываются на печатную металлическую схему и припаиваются к ней.

Может быть использована твердая лента из тонкого гетинакса или гибкая и термостойкая лента из асбестовой бумаги или стеклоткани. Термостойкие ленты позволяют производить запекание краски при более высокой температуре, что выгодно отражается на качестве сопротивлений.

Точная подгонка величины отдельно изготовленных сопротивлений может осуществляться различными способами, например для плоских сопротивлений на твердом основании можно применить метод, напоминающий нарезание спиралей при изготовлении углеродистых сопротивлений на керамических трубочках или палочках, а именно: нарезать наклонные канавки на поверхности печатного сопротивления, как это показано на фиг. 11.

Концы таких отдельно изготовляемых сопротивлений металлизированы, залуживаются и припаиваются к металлическим элементам схемы.

Вопрос о применении того или иного метода изготовления сопротивлений решается в зависимости от его экономической целесообразности.



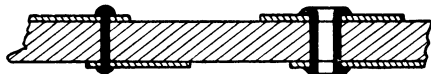
Фиг. 11. Плоское печатное сопротивление с нарезанными на нем канавками.

Вопрос о применении того или иного метода изготовления сопротивлений решается в зависимости от его экономической целесообразности.

разности. Если требуемая точность изготовления может быть обеспечена при печатании сопротивлений непосредственно на изоляционной плате, без добавочных трудоемких операций по подгонке величины их номиналов, то такой способ оказывается более удобным. Если же печатание сопротивлений будет сопряжено со значительным процентом брака, требующим трудоемких подгоночных операций, более целесообразным может оказаться изготовление сопротивлений в виде отдельных деталей, впаиваемых затем в схему. Последний способ оказывается, кроме того, более гибким в отношении замены сопротивлений при ремонте.

КОНСТРУИРОВАНИЕ МОНТАЖНОЙ СХЕМЫ

Необходимость располагать проводники печатной схемы на поверхности изоляционной платы, в одной плоскости, заставляет предусматривать специальные меры для осуществления пересечения проводников. Совершенно очевидно, что пересечение в одной плоскости проводников, которые должны быть изолированы друг от друга, невозможно. Поэтому монтажные линии приходится располагать на обеих сторонах изоляционной платы таким образом, чтобы пере-



Фиг. 12. Переход с одной стороны изоляционной платы на другую при помощи металлических заклепок и пистонов.

секающиеся линии оказывались в различных плоскостях и были разделены между собой толщиной изоляционного материала платы.

Переход с одной плоскости платы на другую осуществляется через сквозные отверстия в ней при помощи заклепок или пистонов, как показано на фиг. 12. Все детали, соединяемые с монтажной схемой, должны иметь с последней надежный электрический контакт. Поэтому места соединений пропаиваются. Процесс пайки может быть механизирован. Так, например, в случае пайки к печатной схеме, нанесенной на керамику, этот процесс может быть осуществлен следующим образом. Все наружные (навесные) детали вставляются своими выводами в специальные отверстия, предусмотренные для этой цели

в изоляционном основании, к которым подведены металлизированные линии схемы. Затем плата опускается в ванну с расплавленным припоем так, чтобы в припой погрузились только выводы навесных деталей, но не сами детали. На вынутой из припоя плате все детали оказываются припаянными к схеме. Если плата перед погружением будет нагрета на воздухе до температуры порядка 230°C , то затем достаточно ее погрузить в припой на 15—20 сек. При таком способе в процессе пайки все металлические элементы печатной схемы облуживаются, покрываются тонким слоем припоя. Те места схемы, к которым припой не должен приставать (например, печатные катушки, сопротивления), нужно предварительно покрыть температуростойким защитным лаком.

Печатные сопротивления при такой технологии пайки должны выдерживать без повреждения нагрев до $200\text{—}230^{\circ}\text{C}$.

Механизированная пайка может быть осуществлена другим способом при помощи индукционного нагрева. В этом случае навесные детали с залуженными выводами вставляются в предусмотренные для них отверстия, в которых заранее закреплены также залуженные пистоны или пустотелые заклепки. При внесении смонтированной платы в индукционную печь все металлические части, в том числе печатные монтажные линии, металлические пистоны и выводы навесных узлов, разогреваются, слой полуды плавится, и выводы деталей припаиваются к пистонам, в которые они вставлены.

Возможны и другие варианты механизации этого процесса. В случае пайки непосредственно к линиям схемы, нанесенным серебряной краской, приходится применять припой, содержащий некоторое количество серебра (около 2%) для предотвращения поглощения расплавленным припоем серебра из печатных линий в процессе пайки.

Для печатных схем, нанесенных на поверхность пластмассы, пайка осуществляется либо низкотемпературными припоями, содержащими висмут (например: сплав 20% олова, 40% висмута и 40% свинца, который плавится при 110°C), либо обычными оловянисто-свинцовыми припоями при условии, что самый процесс пайки происходит быстро, без длительного нагрева пластмассы, который может повредить ее свойства.

Проводники в печатных схемах должны обладать хорошей проводимостью и способностью пропускать токи нужной силы. Сопротивление проводников определяется их длиной, поперечным сечением и удельным сопротивлением, которое зависит от выбранного метода изготовления печатной схемы из данного металла.

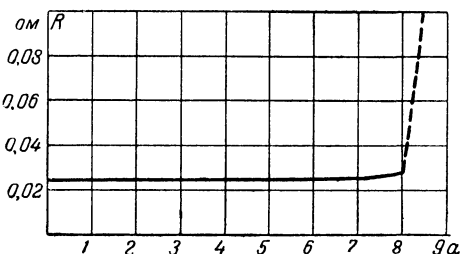
В маломощной радиоаппаратуре по монтажным проводникам обычно проходят токи небольшой силы, измеряемые миллиамперами или небольшими долями ампера. Токи наибольшей силы проходят в цепях накала, но и здесь они достигают в большинстве случаев значе-

ний, не превосходящих 2—3 а; крайне редко имеют место случаи, когда ток накала превосходит такую величину. Для указанных ранее значений токов оказываются вполне достаточными монтажные линии шириной 1—2 мм при толщине металла не менее 10—15 микрон.

Удельная нагрузка на 1 мм² сечения проводников в печатных схемах может быть допущена довольно высокая, так как печатные проводники находятся в выгодных условиях в смысле охлаждения — они каждой своей точкой плотно связаны с материалом основания и это придает им способность лучше рассеивать тепло, выделяющееся при нагревании.

Так, например, проводник из серебра на керамической плате, имевший ширину 1 мм, толщину 0,025 мм и длину 21 мм, выдерживал ток силой 8 а в течение нескольких часов. При увеличении тока до 9 а проводник расплавился через 35 мин. (фиг. 13).

Меньшей проводимостью, а следовательно, и большим удельным сопротивлением обладают проводники, наносимые токопроводящими красками или разбрызгиванием металла. Это объясняется тем, что при таких методах слой металла получается менее плотным, пористым, и поэтому для получения большей проводимости приходится наносить более толстый слой краски или разбрызгиваемого металла.



Фиг. 13. График зависимости сопротивления печатного проводника от силы протекающего по нему тока.

Практика показала, что измеренная действительная величина сопротивления печатных проводников оказывается больше, чем расчетная, особенно для токопроводящих красок. Так, например, измеренное сопротивление проводника из серебра, полученного после обжига серебряной краски, нанесенной на керамическое основание, может оказаться вдвое больше, чем расчетное сопротивление для такого же проводника из чистого серебра. Большое значение в этом случае имеют технология печатания, состав связующих веществ и способ нагрева.

Проводники, полученные нанесением токопроводящих красок на пластмассу, обладают еще меньшей проводимостью, так как невозможность нагрева пластмассы до высокой температуры приводит к тому, что серебряный порошок спекается хуже, чем на керамике.

Так, печатный проводник длиной 2,5 см и шириной 2 мм, нанесенный серебряной краской на пластмассу, имел сопротивление 0,5 ом и допускал прохождение тока только в 0,5 а. Более сильный ток приводил к сильному нагреву проводника и пластмассы, и сцепление между ними резко ухудшалось.

В экономичной радиоприемной аппаратуре с лампами прямого накала даже такое значение тока (0,5 а) с запасом перекрывает возможные запросы для всех цепей.

В случае, если требуется получить проводники с более низким сопротивлением, необходимо, как уже указывалось, увеличивать толщину слоя серебряной краски или применять гальваническое наращивание металла на печатную схему.

При нанесении проводников методом разбрызгивания металла легче получить толстые слои, т. е. большее поперечное сечение проводников. Это позволяет применять металлы с большим удельным сопротивлением, чем серебро и медь, например цинк.

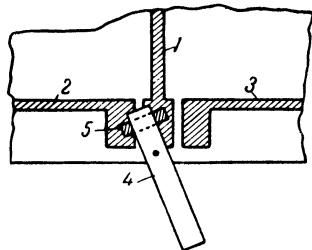
При использовании метода разбрызгивания металла можно для перехода с одной стороны платы на другую, а также для подключения навесных деталей применять пистоны или глазки, которые вставляются в соответствующие отверстия в изоляционной плате до нанесения металла. Распыленный металл накладывается на поверхность платы и покрывает при этом бортики переходных пистонов, образуя прочный контакт между ними и проводниками, полу-

чающимися при металлизации. Выводы навесных деталей вставляются в глазки и затем припаиваются.

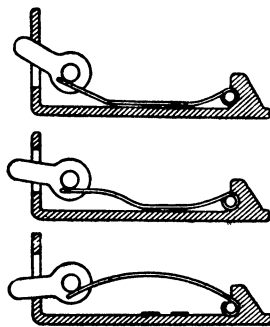
При размещении на поверхности изоляционной платы печатных проводников, несущих токи высокой частоты, в ряде случаев может иметь существенное значение емкость между параллельно расположенными проводами. В таких случаях вредная емкость может быть резко уменьшена, если между двумя опасными в отношении емкости монтажными линиями будет нанесена третья, заземленная линия.

Расположение монтажных линий играет серьезную роль в печатной аппаратуре. Поэтому при конструировании ее исключительно большое внимание уделяется разработке рисунка монтажной схемы.

Говоря о печатной монтажной схеме, мы рассматривали



Фиг. 14. Схема устройства простейшего переключателя с печатными контактами.



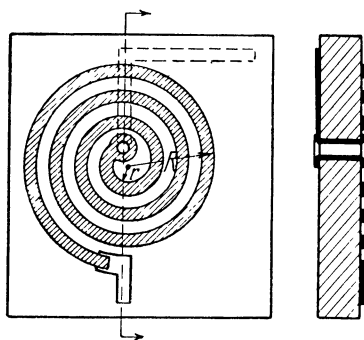
Фиг. 15. Схема устройства выключателя с печатными контактами.

выше только монтажные проводники. Однако таким же способом могут быть нанесены и неподвижные контактные элементы различных коммутационных узлов, например переключателей. В этом случае печатные контакты входят в общую печатную схему, а подвижной контакт выполняется отдельно и монтируется затем на изоляционном основании. Переключатели могут быть осуществлены самыми различными способами. Простейший пример показан на фиг. 14. Переключение проводника 1 и соединение его либо с проводником 2, либо с проводником 3 осуществляется при помощи подвижного рычага 4 с упругой замыкающей пластинкой 5. При надлежащем выборе сорта металла, толщины и конфигурации упругой пластинки такой пере-

ключатель работает вполне устойчиво; печатные контакты необходимо в этом случае усилить за счет гальванического наращивания серебра или меди. Пример конструкции выключателя с печатными контактами показан на фиг. 15. Здесь замыкание печатных контактов осуществляется за счет упругости плоской пружины, которая изгибается под действием рычажка, связанного с одним ее концом. Второй конец пружины упирается в выступ из пластмассы. Действие выключателя ясно из приведенной фигуры.

КОНСТРУИРОВАНИЕ КАТУШЕК

Печатные катушки индуктивности могут быть либо плоского типа — на поверхности изоляционных плат, используемых в качестве основания радиоприборов, либо цилиндрического типа — на поверхности цилиндров из керамики, стекла или другого изолятора.



Фиг. 16. Плоская спиральная катушка.

Плоские катушки имеют обычно форму спиралей (фиг. 16). Величина индуктивности зависит от размеров катушки и количества витков в ней. Ширину линий спирали берут обычно в пределах от 0,5 до 1,5 мм. Небольшие спиральные катушки диаметром до 40 мм имеют индуктивность порядка 5 мкГн. С увеличением внешнего диаметра индуктивность катушки растет.

Примерный подсчет индуктивности однослойной спиральной катушки может быть произведен по формуле

$$L = 0,00137 \, a n^2 (1 + H) \, \text{мкГн},$$

где $a = \frac{R+r}{2}$ — средний радиус катушки, мм;

R — внешний радиус катушки, мм;

r — внутренний радиус катушки, мм;

n — число витков спирали;

H — коэффициент, зависящий от отношения $\frac{r}{R}$ и определяемый из графика фиг. 17.

При малом числе витков измеренная величина индуктивности оказывается несколько больше расчетной вели-

чины; разница эта уменьшается с увеличением числа витков в катушке.

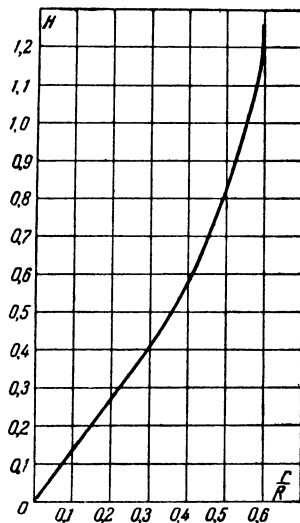
Добротность катушки Q зависит от целого ряда факторов, важнейшими из которых являются следующие:

- 1) толщина металлического слоя и удельное сопротивление печатных линий, образующих катушку;
- 2) диэлектрические свойства материала основания.

Линии, наносимые серебряной краской, обладают, как уже отмечалось, не очень хорошей проводимостью и, как следствие, катушки, изготовленные таким способом, имеют низкую добротность. Для повышения ее приходится подвергать такие катушки гальваническому наращиванию. Хорошие результаты получаются при гальваническом наращивании на печатную катушку слоя серебра толщиной 0,025—0,05 мм. Так, например, спиральная катушка, витки которой были образованы линиями серебряной краски шириной 0,75 мм и толщиной 7,5 микрон, имела добротность, равную 25. После гальванического наращивания серебром до толщины 25 микрон добротность возросла до 125. Возможна гальваническая обработка двумя металлами: вначале наращивание меди для получения нужной проводимости, а затем покрытие поверхности катушки слоем серебра для предохранения от окисления и связанных с этим повышенных потерь на поверхностный эффект.

Для ультракоротких и коротких волн катушка легко может быть получена в виде одной спирали небольших размеров. Выводы катушки делаются на обе стороны платы, как показано на фиг. 16, и затем соединяются с нужными точками печатной схемы.

Большую величину индуктивности на той же площади основания можно получить различными способами. Один из таких способов основан на использовании взаимной индукции двух катушек. Напечатав две катушки друг под другом



Фиг. 17. График для определения коэффициента H .

на обеих сторонах изоляционной платы и соединив эти катушки последовательно, получаем индуктивность, величина которой для среды с магнитной проницаемостью, равной единице, определяется по формуле

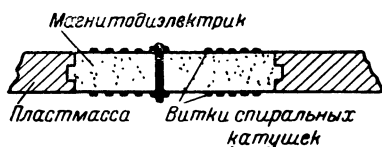
$$L_{\text{общ}} = L_1 + L_2 \pm 2M,$$

где L_1 и L_2 — индуктивности обеих катушек;

$M = k \sqrt{L_1 \cdot L_2}$ — коэффициент взаимной индукции.

При сильной связи между катушками, которая получается при близком их взаимном расположении, т. е. при $k \approx 1$ и при одинаковых катушках L_1 и L_2 , т. е. при $L_1 = L_2$, можно получить общую индуктивность, почти в 4 раза превышающую индуктивность каждой из катушек в отдельности.

Увеличение индуктивности печатных катушек может быть достигнуто также путем использования магнитных



Фиг. 18. Изоляционная плата с запрессованным в нее магнитодиэлектриком.

материалов типа магнитодиэлектриков. Это может быть осуществлено, например, за счет того, что при прессовании изоляционной платы из пластмассы в основание запрессовывается магнитодиэлектрик в том месте, где располагаются катушки, как

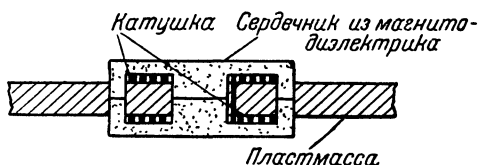
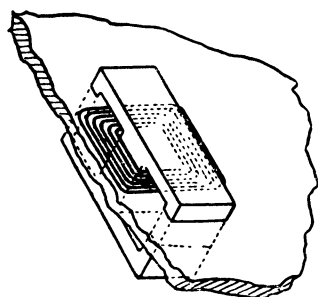
показано на фиг. 18; в результате создается катушка с сердечником, индуктивность которой определяется как количеством витков, так и магнитной проницаемостью сердечника.

Другой способ использования магнитных материалов для увеличения индуктивности печатной катушки заключается в том, что на поверхность изоляционной платы, в том месте, где должна располагаться катушка, наносят диск из магнитного материала. Этот диск покрывают слоем изолирующего вещества, на котором печатается плоская катушка. Сверху на нее накладываются также слой изоляции и второй диск из магнитного материала. Одновременно с увеличением индуктивности такая конструкция обеспечивает и магнитную экранировку катушки. Если в качестве магнитного материала используется магнитодиэлектрик, то можно катушку помещать непосредственно между дисками, без специальных прослоек из изоляционного материала.

Разновидность этого способа заключается в том, что катушка покрывается магнитной краской, представляющей смесь магнитного порошка со связующим веществом.

Приведенные примеры далеко не исчерпывают всех возможностей в области конструирования малогабаритных печатных катушек индуктивности, но достаточно хорошо иллюстрируют те перспективы, которые открывает метод печатных схем в этом направлении.

Более сложная конструкция, представляющая комбинацию печатной катушки с отдельным сердечником из магнитодиэлектрика, показана на фиг. 19. Здесь катушка состоит из двух частей, напечатанных на противоположных сторонах изоляционной пла-



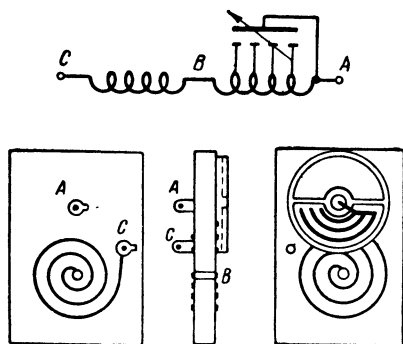
Фиг. 19. Печатная катушка с замкнутым магнитным сердечником.

ты и соединенных последовательно. Вокруг катушек в плате сделаны специальные сквозные вырезы, в которые вставляются две половинки магнитного сердечника, образующего замкнутую магнитную цепь вокруг катушек. Такая конструкция дает как увеличение индуктивности, так и ослабление внешнего магнитного поля катушек, т. е. их экранировку.

Печатные схемы позволяют получать также и переменную индуктивность. Один из вариантов ее осуществления заключается в том, что вся индуктивность выполняется в виде двух соединенных последовательно катушек, из которых одна печатается на основной изоляционной плате, а вторая — на отдельной пластинке, причем эта пластинка конструктивно располагается так, что может перемещаться относительно основной платы. Перемещение этой второй пластинки приводит к изменению взаимной индукции катушек, а следовательно, и к изменению общей индуктивности. Плавное изменение индуктивности можно осуществить также при помощи пластины из меди или алюминия, которая перемещается относительно печатной катушки, прибли-

жаясь или удаляясь от нее, или перекрывает катушку в большей или меньшей степени. Приближение металлической пластины вызывает уменьшение индуктивности катушки и позволяет осуществлять таким образом настройку колебательного контура, в который входит катушка. Приходится, однако, учитывать, что одновременно ухудшается добротность катушки за счет вносимых в нее металлом добавочных потерь.

В несколько видоизмененном варианте этот способ настройки может быть осуществлен без указанного недостатка. Конструкция, используемая для этой цели, приведена на фиг. 20. Здесь индуктивность выполняется



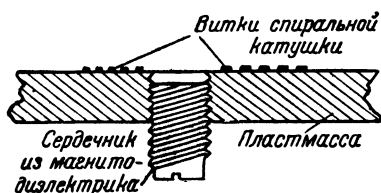
Фиг. 20. Настройка плоской спиральной катушки при помощи керамического диска с нанесенными на него металлическими полукольцами.

в виде двух плоских спиральных катушек, расположенных одна под другой на противоположных сторонах изоляционной платы и соединенных между собой последовательно заклепкой или пистоном, проходящим через центры катушек. Направление хода витков обеих катушек должно быть взаимно противоположным, для того чтобы их магнитные поля складывались.

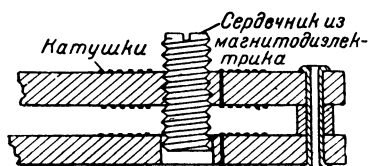
Над одной из катушек помещается диск из керамического материала с высокой диэлектрической проницаемостью ϵ , который может вращаться вокруг оси, соединенной с нулевой точкой схемы. На внешнюю поверхность диска, не соприкасающуюся с поверхностью платы и катушками, наносится металлический рисунок в виде нескольких незамкнутых полуколец, соединенных между собой и в то же время соединенных через ось своего вращения с концом катушки и с нулевой точкой схемы, как это показано на фиг. 20. Когда эти проводники не находятся над катушкой, они практически в работе не участвуют. Когда же диск повертывается так, что рисунок находится над катушкой, появляется заметная емкость между этими полу-

круглыми проводниками и катушкой, которая как бы увеличивает распределенную емкость катушки или, что то же, увеличивает длину волны, на которую настроен контур. Ценной чертой такой конструкции является то обстоятельство, что магнитное поле катушки при этом не искажается, как это имеет место при сплошном металлическом диске, так как в данном случае замкнутых витков на подвижном диске нет. Поэтому увеличивается только емкость, но не уменьшаются ни индуктивность катушки L , ни ее добротность Q .

Подстройка печатных катушек в небольших пределах может быть осуществлена с помощью подвижного сердечника



Фиг. 21. Настройка плоской катушки при помощи сердечника из магнитодиэлектрика.



Фиг. 22. Настройка четырех последовательно соединенных спиральных катушек при помощи сердечника из магнитодиэлектрика.

ника из магнитодиэлектрика подобно тому, как это делается в обычных катушках, применяемых в радиоаппаратуре. Для одиночной печатной катушки это может быть сделано по принципу, изображенному на фиг. 21. Ввинчивание сердечника в плату вызывает увеличение индуктивности катушки. На фиг. 22 изображена более сложная конструкция: четыре катушки, соединенные последовательно, печатаются на обеих сторонах двух изоляционных плат и располагаются одна под другой; магнитный сердечник при ввинчивании перемещается на довольно большую длину, при этом изменяются как индуктивность отдельных катушек, так и коэффициент взаимной индукции.

Трансформатор высокой частоты, состоящий из двух индуктивно связанных катушек, легко может быть осуществлен, например, по принципу, иллюстрируемому фиг. 23,а. Степень связи катушек, располагающихся рядом на поверхности изоляционной платы, определяется расстоянием между ними.

Другая конструкция, принцип которой ясен из фиг. 23,б использует катушки на обеих сторонах платы, что позволяет получить большую величину индуктивности в каждом из контуров.

Связь между контурами индуктивно-емкостная; емкость образуется между парой катушек, по одной из каждого контура. Электрическая схема такого

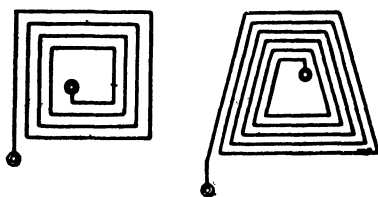


Фиг. 23. Высокочастотный трансформатор.

a — из двух плоских спиральных катушек; *б* — из двух пар плоских катушек.

трансформатора показана

Упомянутая нами до



Фиг. 24. Прямоугольная и трапециевидная формы плоских катушек.

на той же фиг. 23,б.

сх пор спиральная форма плоской катушки не является единственно возможной. Если это оказывается конструктивно более выгодным и удобным, можно придать катушке другую форму, например прямоугольную, трапециевидную или иную, как показано на фиг. 24.

КОНСТРУИРОВАНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ

Конденсаторы постоянной емкости для печатных схем могут быть изготовлены самыми различными способами. Простейший тип печатного конденсатора изображен на фиг. 25,а; он представляет два металлизированных прямоугольника на противоположных сторонах изоляционной

платы. Каждый из прямоугольников выполняет роль одной из обкладок конденсатора, а изоляционный материал, заключенный между ними, является диэлектриком конденсатора. Емкость такого конденсатора определяется, как известно, по формуле

$$C = \frac{S \cdot \epsilon}{3,6\pi \cdot d} \text{ мкмкф},$$

где S — площадь металлической обкладки, см^2 ;

ϵ — диэлектрическая проницаемость изоляционного материала;

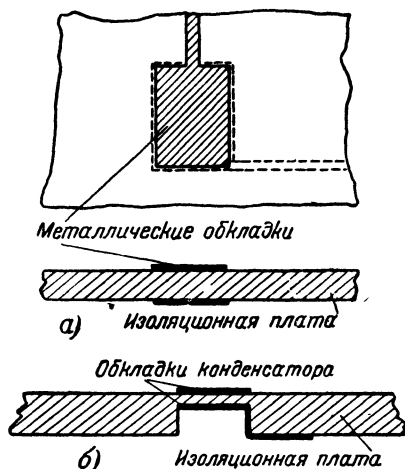
d — толщина диэлектрика, см .

Следовательно, для увеличения емкости конденсатора нужно увеличивать площадь обкладок и уменьшать толщину слоя диэлектрика между ними. Из этих соображений плату полезно пресовать так, как показано на фиг. 25, б. В месте, где располагаются обкладки конденсатора, в диэлектрике выпрессовывается углубление; слой диэлектрика в этом месте делается возможно более тонким.

Однако, кроме размеров и величины диэлектрической проницаемости существенную роль играют электрические свойства диэлектрика, тангенс угла диэлектрических потерь в нем.

Если потери в материале платы слишком велики, то выполнение конденсатора такой конструкции нерационально, так как конденсатор с большими потерями будет резко ухудшать качество высокочастотной цепи, в которой он должен работать.

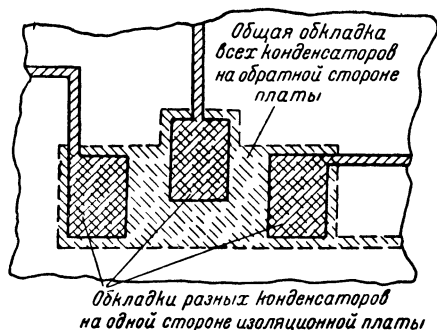
В таких случаях можно использовать в качестве диэлектрика высокочастотную конденсаторную керамику в виде тонкой таблетки, которая запрессовывается в изоляцион-



Фиг. 25. Устройство простейшего печатного конденсатора.

ную плату в том месте, где должен располагаться конденсатор, и затем обе ее плоскости металлизуются. Выбирая специальные сорта конденсаторной керамики, обладающей высокой диэлектрической проницаемостью ϵ , можно увеличить значение емкости при относительно небольших размерах обкладок конденсатора.

Печатная конструкция конденсаторов позволяет осуществить ряд интересных вариантов. Так, например, если в схему входит несколько конденсаторов, у каждого из которых одна обкладка соединена с землей, то они могут быть выполнены так, как показано на фиг. 26.



Фиг. 26. Печатные конденсаторы с одной общей обкладкой.

На одной стороне изоляционной платы металлизуется большая поверхность, представляющая общую заземленную пластину, а на противоположную сторону наносятся отдельные металлические прямоугольники, соединенные с соответствующими точками схемы и представляющие вторые обкладки всех конденсаторов.

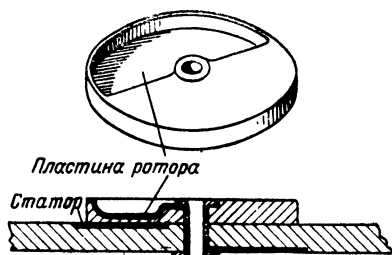
В этом случае заземленная поверхность может выполнять одновременно роль экрана, если это требуется.

Способ нанесения металла для обкладок такой же, как и для монтажных линий, и наносятся эти обкладки одновременно со всей металлизированной печатной схемой.

В целом ряде случаев оказывается более целесообразным изготавливать керамический конденсатор в виде отдельной детали, имеющей форму, например, плоского тонкого диска, который серебрится отдельно и затем накладывается на поверхность изоляционной платы с печатным монтажом и припаивается к нужным точкам печатной схемы. Использование для таких конденсаторов материалов со сверхвысокой диэлектрической проницаемостью типа титанатов бария позволяет получать конденсаторы емкостью до нескольких тысяч микромикрофард при толщине дисков 0,5 мм и при диаметре порядка 12—15 мм. Конденсаторы

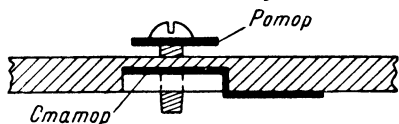
малой емкости могут быть сделаны совершенно миниатюрными, диаметром порядка нескольких миллиметров.

Подстроечные конденсаторы могут быть выполнены таким образом, что неподвижная их часть (статор) печатается непосредственно на поверхности изоляционной платы, вместе со всем металлическим рисунком печатной схемы, а подвижная часть (ротор) изготавливается отдельно в виде диска из конденсаторной керамики, одной стороной плотно, без зазоров, прилегающего к статору. На другую сторону этого диска наносится серебром поверхность пластины ротора. Керамика является в данном случае диэлектриком (фиг. 27).



Фиг. 27. Подстроечный конденсатор с печатным статором и печатным ротором.

Более простой вариант конструкции подстроечного конденсатора показан на фиг. 28. Здесь статор нанесен на нижнюю поверхность изоляционной платы, а ротор представляет металлический диск, находящийся на другой стороне и перемещающийся при помощи винта, отдаляясь или приближаясь к пластине статора. Во втором случае конденсатор следует рассматривать как воздушный, и емкость его оказывается очень небольшой.

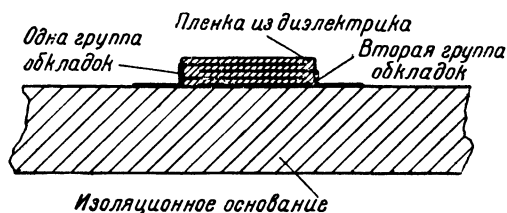


Фиг. 28. Подстроечный конденсатор с ротором в виде перемещающегося металлического диска.

Для получения постоянных конденсаторов большей емкости используется слоистая конструкция, в которой слои металла чередуются с тонкими слоями из диэлектрика. Возможны самые различные варианты осуществления такой конструкции. Например, на поверхность изоляционной платы наносится слой металла, образующий первую обкладку конденсатора. На этот металл наносится тонкая пленка из изоляционного лака, обладающего малыми диэлектрическими потерями. На лаковую пленку снова наносится слой металла, образующий вторую обкладку конденсатора. Поскольку такая конструкция допускает применение диэлек-

трика в виде тонкого слоя, емкость конденсатора может быть сделана довольно большой, значительно больше, чем при использовании в качестве диэлектрика материала самого основания. Если требуется конденсатор еще большей емкости, операция нанесения лаковой пленки и чередующихся с ней слоев металла может быть повторена несколько раз.

Слои металла наносятся таким образом, чтобы они соединялись между собой через один, и в результате получаются две группы параллельно соединенных металлических обкладок (фиг. 29) подобно тому, как это имеет место в хорошо известных конструкциях слюдяных конденсаторов.



Фиг. 29. Печатный конденсатор слоистой конструкции.

Каждая группа металлических обкладок соединяется с соответствующей точкой печатной схемы и, таким образом, включается в электрическую схему прибора.

В целом ряде случаев более целесообразным оказывается применение в печатной схеме навесных конденсаторов, т. е. конденсаторов, изготовленных отдельно от печатной схемы и впаиваемых в нее. Такие конденсаторы могут иметь самую различную конструкцию. Весьма удобными оказываются, например, керамические конденсаторы в виде плоских дисков, описанные выше, из материалов с высокой диэлектрической проницаемостью. Конденсаторы в виде отдельных деталей могут быть изготовлены сами по себе на основе техники печатания. Этим способом возможно изготовить, например, конденсаторы с использованием диэлектрика из стеклоэмали. Такие конденсаторы состоят из чередующихся слоев диэлектрика (стеклоэмали) и металла (серебряной краски), которые наносятся поочередно один на другой методом разбрызгивания с помощью специальных пульверизаторов. После нанесения нужного количества слоев полученная слоистая таблетка запекается

и получается весьма стабильный конденсатор, который впаивается в печатную схему. При надлежащем выборе рецептуры стекломали могут быть получены конденсаторы с весьма малыми диэлектрическими потерями, близкие по своим показателям к лучшим слюдяным конденсаторам и пригодные для использования в высокочастотных цепях. Для конденсаторов такой конструкции может быть получена удельная емкость $0,003 \text{ мкф}$ на 1 см^3 при рабочем напряжении 500 в постоянного тока.

Очень большое значение имеет то обстоятельство, что изготовление конденсаторов описанного типа может быть полностью механизировано, что является чрезвычайно существенным преимуществом с точки зрения массового производства.

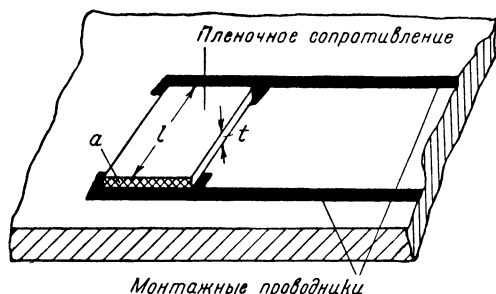
КОНСТРУИРОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ

К конструированию печатных сопротивлений и к выбору их формы приходится подходить с учетом специфических особенностей печатных схем. Действительно, если задаться целью получить все печатные сопротивления одного размера, в виде прямоугольников или полосок одинаковой площади, нанесенных на поверхность изоляционной платы, то изготовление таких сопротивлений будет чрезвычайно усложнено. Каждый номинал сопротивления потребует особого состава краски, обеспечивающего получение именно данной величины сопротивления. Можно было бы идти по другому пути: не составлять специальных красок для каждого номинала сопротивления, а пользоваться ограниченным количеством различных красок, но наносить их несколькими слоями, подбирая состав красок и количество слоев так, чтобы в результате получилось сопротивление нужного значения. Но такие способы изготовления сопротивлений мало пригодны для массового производства, так как требуют большого числа лишних операций и сильно усложняют производственный процесс.

Затруднение может быть преодолено другим путем: можно ограничиться очень небольшим числом различных красок, но разнообразить геометрические размеры, форму сопротивлений. Как будет показано ниже, такой путь позволяет обойтись всего двумя или тремя составами красок, что уже вполне приемлемо для производства. В этом случае все сопротивления печатаются за два или три приема;

вначале печатаются все сопротивления, рассчитанные на первый тип краски, затем—на второй и, если нужно, в третью операцию — остальные.

При конструировании печатных сопротивлений такого типа, представляющих тонкую пленку прямоугольной формы, нанесенную специальной краской на поверхность изоляционного основания, можно исходить из приводимых ниже соображений.



Фиг. 30. Плоское пленочное сопротивление.

Значение величины плоского сопротивления, представляющего прямоугольник из пленки, однородной по толщине (фиг. 30), определяется по формуле.

$$R = \frac{\rho l}{a},$$

где ρ — сопротивление на единицу объема пленки, т. е. иначе ее удельное объемное сопротивление;

l — длина пленки;

a — площадь ее поперечного сечения.

Для пленки, имеющей форму квадрата

$$R = \frac{\rho l}{tl},$$

где t — толщина пленки; иначе говоря, в этом случае величина сопротивления определяется отношением $\frac{\rho}{t}$ и не зависит от длины стороны квадрата.

Физически это совершенно ясно: увеличение длины прямоугольника ведет к увеличению общего сопротивления,

а увеличение ширины — к уменьшению его. Поскольку в квадрате стороны равны, всякое увеличение длины сопровождается таким же увеличением ширины, а следовательно, общее сопротивление остается неизменным.

На основании этого заключения мы приходим к выводу, что пленочные сопротивления с однородной толщиной пленки можно сравнивать по величине сопротивления на единицу площади, т. е. в омах на единицу площади, понимая под единицей площади квадрат с любой стороной.

Так, обычные углеродистые сопротивления цилиндрического типа имеют сопротивление порядка 10 000 ом на единицу площади, а некоторые типы сопротивлений — до 1 мгом на единицу площади.

Пользуясь сделанным выше выводом, можно рассчитать размеры любого пленочного сопротивления прямоугольной формы, поскольку площадь каждого прямоугольника можно представить как сумму площадей некоторого числа квадратов. Если для пленки однородной толщины из данного материала обозначить величину отношения $\frac{\rho}{t} = C$, то для прямоугольника с отношением сторон 2 : 1 (длина вдвое больше ширины) сопротивление будет

$$R = \frac{2l}{l} \cdot \frac{\rho}{t} = 2C.$$

Наоборот, если ширина будет вдвое больше длины, то

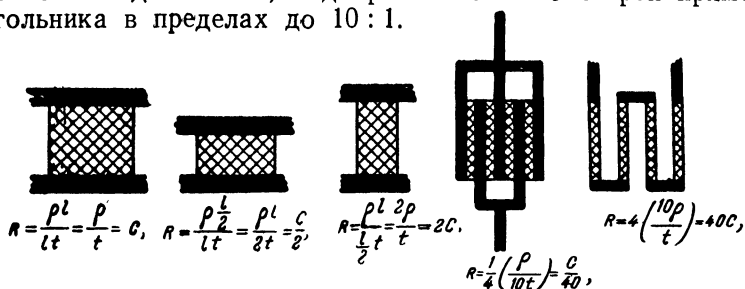
$$R = \frac{l}{2l} \cdot \frac{\rho}{t} = \frac{2}{C}.$$

Если пленка обладает однородной толщиной и одинаковым удельным сопротивлением, то из нее можно изготовить сопротивления с разными номиналами, выбирая для этого определенные соотношения сторон прямоугольника. Если расчет даст очень длинный прямоугольник, его можно заменить другой конфигурацией. Пленочные печатные сопротивления различной формы показаны на фиг. 31.

Если пленка имеет сопротивление 100 000 ом на единицу площади, то из нее можно получить любые сопротивления в пределах от 5 000 ом до 2 мгом, изменяя соотношение между сторонами прямоугольников до 20 : 1.

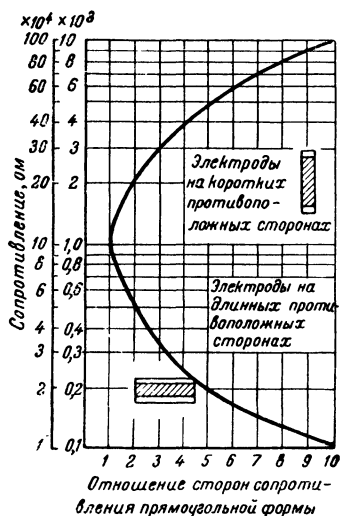
Кривая фиг. 32 показывает, что, имея два вида пленки с сопротивлениями 1 000 и 100 000 ом на единицу площади,

можно получить любые значения сопротивлений в пределах от 100 ом до 1 мгом, подбирая отношение сторон прямоугольника в пределах до 10:1.



Фиг. 31. Плоские пленочные сопротивления различной конфигурации.

При расчете площади пленочного сопротивления необходимо учитывать также и величину рассеиваемой в нем мощности, поскольку перегрев сопротивления выше допустимой температуры может вызвать нарушение его сцепления с изоляционным основанием. Опытным путем установлено, что для пленочных сопротивлений, нанесенных на поверхность слоистой пластмассы (например, гетинакса, текстолита), допустимо рассеяние мощности около 0,15 вт на 1 см² площади. Это соответствует повышению температуры на 50° С.



Фиг. 32. График зависимости величины прямоугольного плоского сопротивления от соотношения его сторон.

соотношение сторон прямоугольника, но и абсолютную величину его площади, выбирая последнюю так, чтобы не допустить нагрева выше безопасной величины.

Переменные сопротивления печатаются в форме дуги, к которой подводятся нужные металлические монтажные линии. Движок выполняется в виде отдельной детали, укрепляемой в центре окружности и соединяемой с остальной схемой также при помощи печатного проводника. Если дуга нанесена одной краской, изменение сопротивления будет пропорционально углу поворота движка с контактной щеткой.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Из приведенных кратких описаний сущности основных производственных процессов, используемых для изготовления радиоаппаратуры методом печатных схем, следует, что одной из главных особенностей всех этих методов является возможность механизации и автоматизации производственного процесса.

Чтобы дать читателю возможность более четко представить себе автоматизированный процесс изготовления радиоаппаратуры, мы приведем ниже описание автоматизированной линейки для изготовления двухламповых радиовещательных приемников по одному из описанных методов, а именно по методу разбрызгивания расплавленного металла.

При создании автоматизированного производственного оборудования за основу принимается, как известно, принцип возможно полного устранения ручного труда и замены его машинами.

В данном случае производственная линейка для изготовления печатной схемы представляет ряд агрегатов, управляемых при помощи электронных приборов и регуляторов; это дает возможность полностью автоматизировать все процессы изготовления радиоприемников, производимые посредством метода «печатания», и оставить применение ручного труда лишь для завершающих операций по соединению полученной «печатной» панели с такими узлами, как трансформаторы, лампы, громкоговоритель и т. п., которые принципиально не могут быть изготовлены печатным методом. Процесс строится таким образом, что отпрессованная из пластмассы плата поступает на автоматическую линейку и там постепенно, без участия человека, как бы обрастает всеми элементами, изготавливаемыми печатным методом.

Весь процесс, включая контрольные операции, управляется посредством электронных приборов. Последователь-

ность операций, выполняемых автоматическим путем, следующая:

1. Отпрессованная изоляционная плата требуемой формы, с канавками и углублениями на обеих сторонах, поступает на автоматическую линейку и подвергается пескоструйной обработке. Эта операция нужна для того, чтобы создать шероховатую поверхность, с которой разбрызгиваемый металл сцепляется более прочно, чем с гладкой.

2. Обработанная пескоструйным автоматом плата металлизировается по всей поверхности с обеих сторон одновременно с помощью специальных пистолетов, управляемых электронными регуляторами.

3. Обе стороны платы подвергаются фрезерной обработке, которая удаляет металлическое покрытие с гладкой поверхности и оставляет его только в канавках и углублениях. Это создает рисунок всей монтажной схемы, катушек индуктивности и обкладок конденсаторов. Фрезерные головки также работают автоматически.

4. Плата поступает на операцию автоматической проверки, где бракованные панели отбрасываются. Если в процессе контроля обнаруживается не менее двух бракованных панелей, следующих подряд друг за другом, то на всех предшествующих операциях линейка останавливается. На последующих операциях, на которые прошли годные платы, работа линейки продолжается.

5. Проверенные платы поступают на операцию нанесения сопротивлений путем покрытия графитовой суспензией из пульверизатора через трафарет, который накладывается также автоматически. Затем следует автоматизированная операция полировки графитового слоя.

6. Платы подвергаются автоматической очистке для удаления всякого рода крошек, пыли, образовавшихся при обработке пластмассы и разбрызгивания металла, а также при нанесении графита.

7. В соответствующие отверстия на плате автоматически вставляются и завальцовываются металлические гнезда и контакты для соединения в дальнейшем с лампами трансформаторами, громкоговорителем и другими узлами, которые не могут быть изготовлены методом печатных схем.

8. Плата с нанесенной на нее схемой подвергается автоматической электропроверке. Обнаруженные дефектные платы отбраковываются и при этом производится автома-

тический повторный контроль на предыдущих операциях во избежание повторения брака.

9. Проверенные платы подвергаются выдержке в определенных тепловых и электрических условиях в течение установленного времени для повышения стабильности и надежности материалов, использованных для их изготовления, после чего покрываются защитным лаком и просушиваются.

Выполнение всех описанных операций занимает всего 20 сек.

Подготовленное таким образом основание радиоприемника выходит из закрытого агрегата, в котором сосредоточена вся линейка автоматически действующего оборудования, и поступает на конвейер обычного типа, на котором применяется ручной труд и где производится окончательная сборка приемника из основной платы и остальных частей, включая футляр.

Дальнейшие операции проверки и упаковки могут быть также в значительной степени автоматизированы.

При описанном способе изготовления для двухлампового приемника отпадает ручной монтаж около 30 деталей, требующих свыше 80 паек.

Приведенная краткая схема технологического процесса изготовления аппаратуры по одному из вариантов метода печатных схем с достаточной очевидностью показывает большие перспективы, которые открывает новый метод производства для радиопромышленности массового выпуска.

Описанное оборудование, само собой разумеется, не является единственно возможным видом автоматического производства, а служит лишь иллюстрацией возможностей, заложенных в новых методах изготовления радиоаппаратуры.

Автоматизация подобного же типа может быть осуществлена и для других вариантов метода печатных схем, применение которых будет признано наиболее целесообразным для тех или иных условий.

Основные преимущества автоматизированного процесса изготовления аппаратуры по описанному или по другому методу печатных схем сводятся к следующему:

1. Стоимость нанесения на изоляционную плату монтажной схемы почти не зависит от сложности рисунка этой

схемы и от количества наносимых печатным способом деталей (катушек, конденсаторов, сопротивлений).

2. Исключаются ошибки в монтаже из-за небрежности или усталости операторов. Длина и взаимное расположение проводников оказываются строго постоянными. Упрощается контроль монтажа.

3. Производство требует меньшего числа рабочих. Обслуживание автоматического оборудования (станков и агрегатов) может производиться небольшим числом квалифицированных операторов. Ручные операции сохраняются лишь для подсоединения навесных узлов (ламп, трансформаторов, громкоговорителя и т. п.).

4. Повышается надежность монтажа за счет уменьшения количества соединений, требующих пайки. Большинство проводников образует единое целое с деталями, с которыми они соединены.

5. Аппаратура, изготовленная методом печатных схем, оказывается более компактной, более легкой и более прочной, чем аппаратура обычного типа, состоящая из отдельно изготовленных и соединенных между собой узлов.

6. Изготовление аппаратуры удешевляется и цикл ее производства оказывается более коротким.

ПРИМЕРЫ АППАРАТУРЫ, ИЗГОТОВЛЕННОЙ МЕТОДОМ ПЕЧАТАНИЯ

Описанными методами печатания может быть изготовлена самая разнообразная аппаратура, начиная от несложных усилителей низкой частоты и кончая многоламповыми приемниками и портативными радиостанциями.

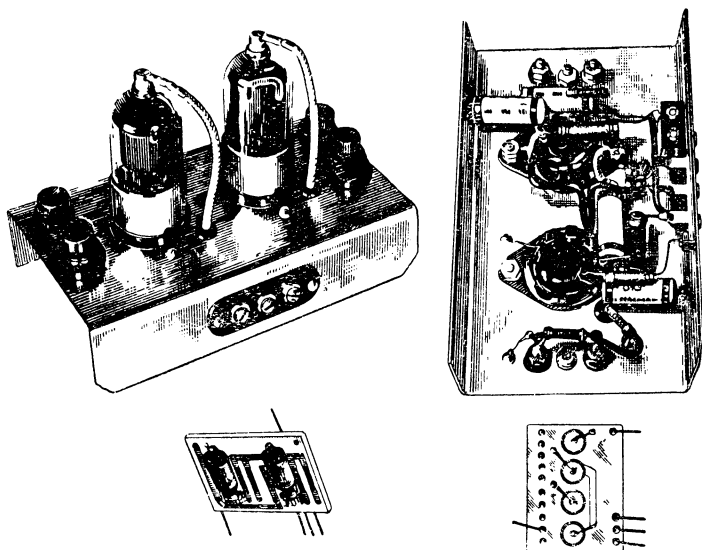
Для полного использования преимуществ в отношении малых габаритов в такой аппаратуре применяются специальные сверхминиатюрные лампы, которые впаиваются непосредственно в схему наравне с остальными навесными деталями.

Двухламповый усилитель обычной объемной конструкции и такой же усилитель, выполненный печатным способом, показаны на фиг. 33. Разница в габаритах получается огромной.

Вполне возможно применение в печатной аппаратуре и ламп обычных типов. В таких случаях печатный монтаж подводится к гнездам ламповой панели, закрепленным

в изоляционной плате прибора, на которую наносится весь печатный монтаж.

Для более детального представления об устройстве печатной аппаратуры ниже приводится пример конструкции, содержащей самые различные элементы схемы, выполняемые печатным методом. Часть платы из изоляционного материала, показанная на фиг. 34, содержит: металлические линии монтажа *а*, соединяющие между собой различные



Фиг. 33. Двухламповый усилитель объемной и печатной конструкций.

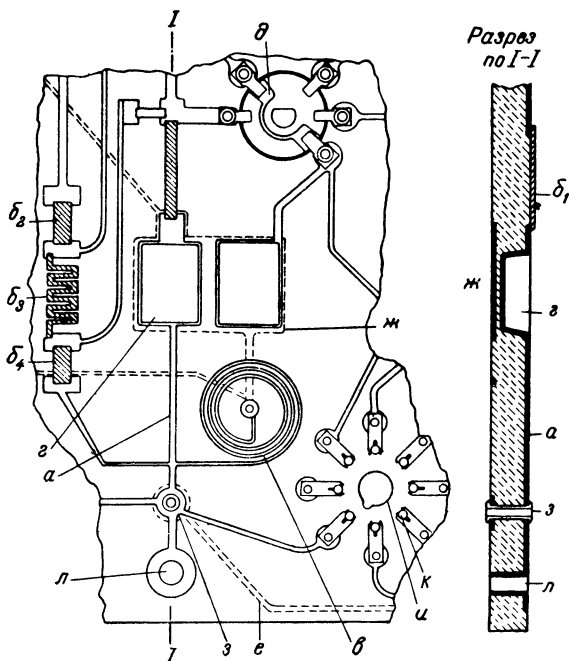
точки схемы, в том числе и ламповые гнезда; печатные сопротивления *б*; катушку *в*; конденсаторы постоянной емкости *г*; переключатель *д*; пунктиром показаны провода, идущие на обратной стороне платы.

Фиг. 34 иллюстрирует лишь принцип конструирования и компоновки аппаратуры, выполняемой методом печатания. Само собой разумеется, что возможны самые различные варианты практического выполнения такой аппаратуры.

На фиг. 35 приведена, например, фотография простого двухлампового радиовещательного приемника, выполненного методом печатных схем на автоматизированной линейке, описанной выше.

Примеры уменьшения габаритов и упрощения конструкции аппаратуры представлены на приводимых ниже рисунках, показывающих различные миниатюрные приборы, выполненные методом печатных схем.

На фиг. 36 показан трехламповый усилитель печатной конструкции аппарата для тугоухих. Выгоды от перехода



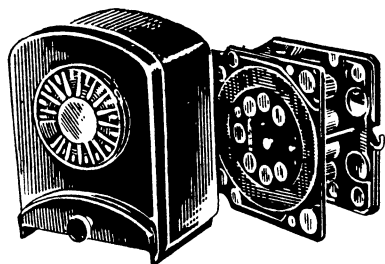
Фиг. 34. Часть изоляционной платы с деталями печатной схемы.

а — монтажные линии; *б* — сопротивления; *в* — спиральная катушка; *г* — верхняя обкладка конденсатора; *д* — переключатель; *е* — монтажная линия на обратной стороне; *ж* — нижняя обкладка конденсатора; *з* — переход на другую сторону платы; *и* — направляющее отверстие для лампы; *к* — гнездо ламповой панели.

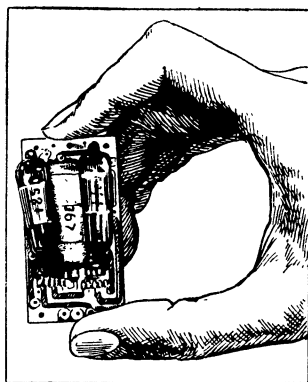
на такую конструкцию подтверждаются фиг. 37, на которой показаны 173 различные детали, образующие такой же усилитель обычной конструкции и заменяемые одной платой усилителя с печатной схемой.

На фиг. 38 изображен сверхминиатюрный передатчик, выполняемый методом печатных схем и размещающийся вместе с источниками питания на ручном браслете. Пере-

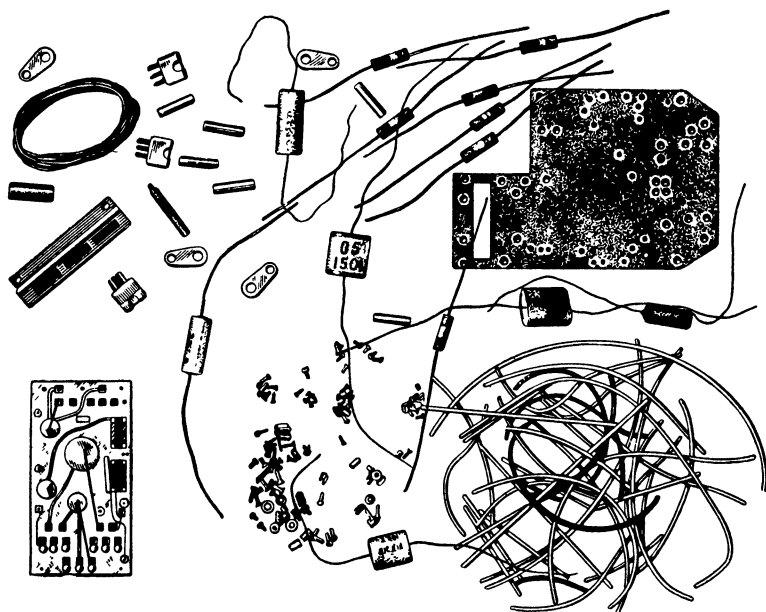
датчик работает на частоте порядка 100 мГц и имеет небольшой радиус действия, 30—50 м, для связи на небольшой строительной площадке в пределах заводского цеха и т. п.



Фиг. 35. Двухламповый приемник, печатные панели которого изготовлены на автоматизированной производственной линии.

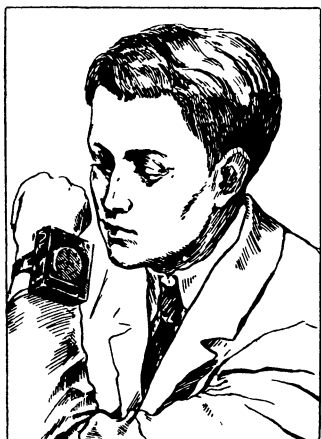


Фиг. 36. Трехламповый усилитель.



Фиг. 37. Детали трехлампового усилителя обычной конструкции, заменяемые одним усилителем печатной конструкции.

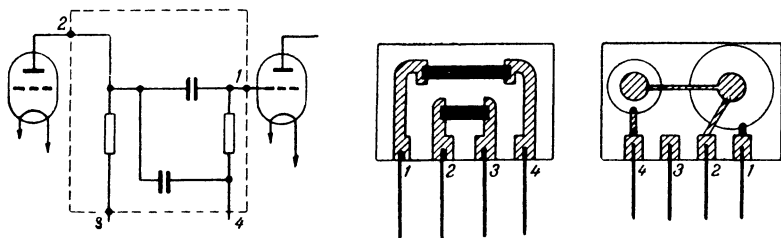
Нередко миниатюрная аппаратура подобного типа подвергается полной герметизации, которая осуществляется посредством запрессовки или заливки всего прибора, вместе с лампами, специальными видами пластмасс, обычно прозрачными.



Фиг. 38. Сверхминиатюрный печатный передатчик.

В качестве переходной стадии между аппаратурой, изготовленной методом печатных схем, и общепринятыми конструкциями оказывается целесообразным и оправданным применение отдельных узлов, выполненных по способу печатания.

Простейшим примером такого печатного узла является комбинация из двух сопротивлений и двух конденсаторов, которая может быть использована в обычной радиоаппаратуре в качестве типового переходного звена между двумя соседними лампами в усилителе низкой частоты на сопротивлениях (фиг. 39). Такой печатный узел оказывается, во-первых, дешевле, чем четыре входящих в него детали в отдельности, и, во-вторых, делает более компактным

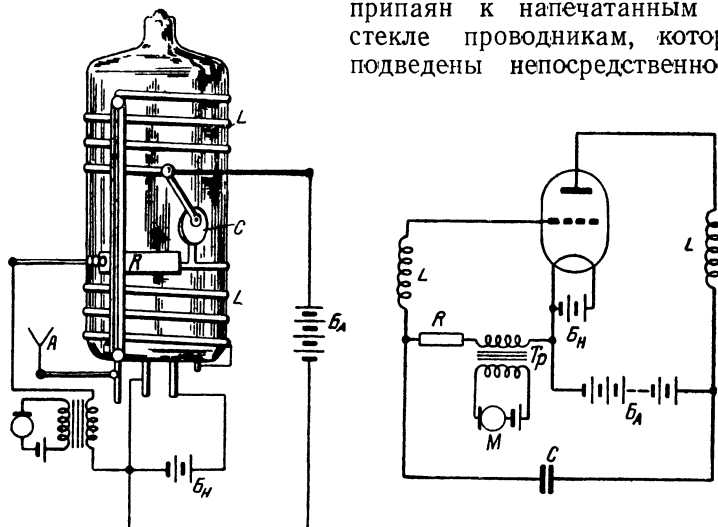


Фиг. 39. Печатный переходный узел между двумя лампами усилителя.

монтаж аппаратуры. По такому же принципу могут быть выполнены и более сложные узлы.

Все описанные примеры относились к аппаратуре, изготавливаемой на плоских изоляционных основаниях, имеющих форму пластин, плат. Однако возможности печатных схем

не ограничиваются такими формами изоляционных оснований. Методом печатания можно наносить схемы на основания более сложной конфигурации, например на цилиндрические поверхности. Фиг. 40 дает пример такой конструкции. Здесь изображен УКВ передатчик, все элементы которого — катушка колебательного контура, катушка обратной связи и сопротивление утечки сетки — нанесены непосредственно на баллон лампы; миниатюрный керамический конденсатор припаян к напечатанным на стекле проводникам, которые подведены непосредственно к



Фиг. 40. Детали УКВ передатчика, напечатанные непосредственно на баллоне лампы,

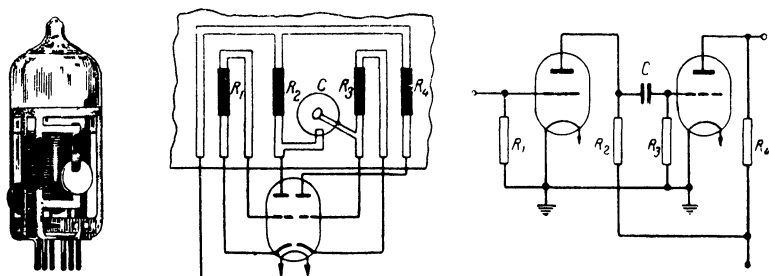
соответствующим ножкам лампы. Модуляторная часть — микрофон и трансформатор, а также источники питания подключаются отдельно.

На фиг. 41 показан двухкаскадный усилитель, напечатанный на баллоне лампы типа двойного триода. Там же изображены схема усилителя и развертка печатной схемы на баллоне.

Металлические линии и сопротивления в таких случаях наносятся на баллон лампы через маску или трафарет, наклеиваемый предварительно на стекло, или каким-либо другим способом.

Следует, однако, отметить, что для массового производства радиоаппаратуры варианты печатания схем непосред-

ственно на лампах практического интереса не представляют; такая конструкция может найти применение лишь в отдельных, специальных случаях, когда требуются минимальные габариты и недолгосрочная работа аппаратуры, поскольку выход из строя лампы означает невозможность восстановления всего аппарата. Если же требуется длительная работа аппаратуры, то необходимо применение ламп специальной конструкции с повышенным сроком службы,



Фиг. 41. Двухкаскадный усилитель низкой частоты, напечатанный на баллоне лампы — двойного триода.

соизмеримым со сроком службы остальных деталей прибора.

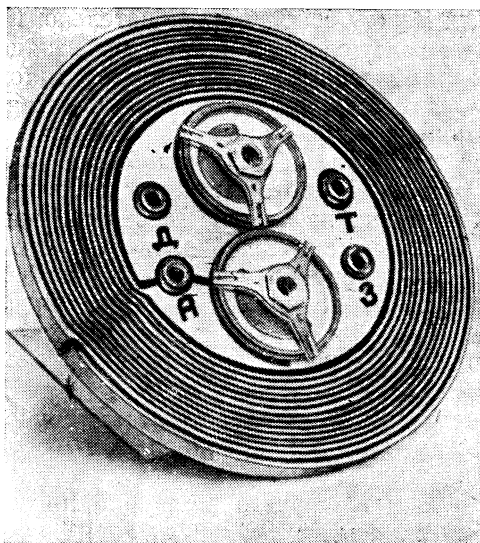
В заключение приведем описание оригинального детекторного радиоприемника, изготовленного методом печатных схем и представленного на 8-й Всесоюзной выставке радиолюбительского творчества (автор Ф. Евтеев).

Основанием приемника, на котором располагаются все элементы его схемы, является плоский фарфоровый диск диаметром 120 мм и толщиной 8 мм (фиг. 42). Катушки индуктивности, монтажная схема и неподвижные обкладки конденсаторов напечатаны пастой, содержащей серебро, на поверхности диска с обеих сторон при помощи трафаретов.

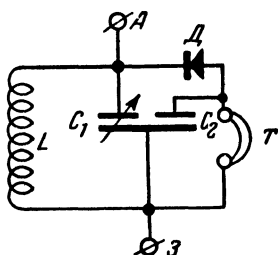
Приемник рассчитан на прием радиовещательных станций, работающих в диапазоне средних волн (250—700 м). Для этого требуется катушка с довольно большой индуктивностью, т. е. в печатном исполнении — спираль большого диаметра и с большим числом витков; отсюда и сравнительно большие размеры керамического основания.

Схема приемника приведена на фиг. 43.

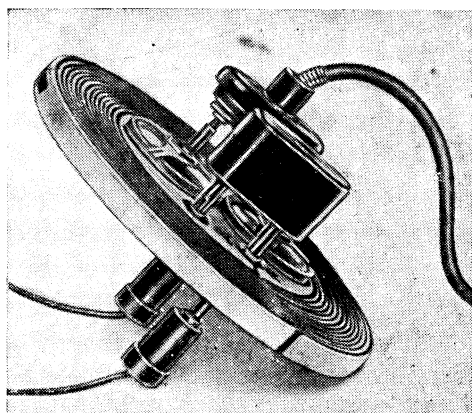
Катушка контура L_1 выполнена в виде двух плоских спиралей, нанесенных на обе стороны керамического диска



Фиг. 42. Расположение деталей детекторного приемника, изготовленного методом печатных схем.



Фиг. 43. Принципиальная схема приемника.



Фиг. 44. Внешний вид детекторного приемника, изготовленного методом печатных схем.

и соединенных между собой последовательно. Конденсаторы C_1 и C_2 имеют конструкцию, аналогичную стандартным подстроечным керамическим конденсаторам с той разницей, что одна из обкладок (заземленная) нанесена непосредственно на лицевую поверхность керамического основания приемника и является общей для обоих конденсаторов. Подвижные обкладки (роторы) представляют полукружности, нанесенные на небольшие диски из конденсаторной керамики, обладающей высокой диэлектрической проницаемостью; эти диски вращаются вокруг осей, проходящих через центр каждого из них. Максимальная емкость конденсаторов — 500 мкмкф. Один из конденсаторов служит для настройки приемника, второй является блокировочным.

Гнезда для антенны A , заземления $З$, детектора $Д$ и телефонов T выполнены в виде латунных трубок, вставленных в отверстия диска и припаянных в соответствующих местах к монтажной схеме.

Внешний вид детекторного радиоприемника, изготовленного методом печатных схем, показан на фиг. 44.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенный краткий обзор методов изготовления радиоаппаратуры по способу печатных схем позволяет подвести некоторые итоги.

Очевидными являются те преимущества, которые обещает дать новый метод конструирования и изготовления аппаратуры в смысле сокращения ее габаритов и весов и упрощения производства.

Не следует считать обязательным условием изготовление методом печатных схем всего радиоаппарата; в целом ряде случаев вполне оправдывает себя комбинированная конструкция, выполняемая частично методом печатных схем, а частично — с применением навесных деталей, например выполнение печатным методом металлических элементов монтажной схемы и катушек (для диапазонов коротких и ультракоротких волн) и подключение к такой схеме остальных навесных узлов.

Поскольку нанесение проводников является наиболее легко осваиваемым в производстве процессом, такой подход к внедрению печатных схем ускорит производственное освоение этой новой технологии.

Наибольшие трудности связаны пока с производственным выпуском однородных и стабильных непроволочных

сопротивлений печатного типа, однако проблема обеспечения необходимых производственных допусков, несомненно, будет разрешена. Вопрос этот требует времени и накопления опыта.

Техника печатных схем может найти применение для радиоаппаратуры самого различного назначения, предназначенной для работы в области как низких, так и самых высоких частот.

В целом ряде случаев применение метода печатных схем может оказаться целесообразным и для не массовой аппаратуры; примером могут служить слуховые аппараты для тугоухих, которые с помощью печатных схем могут быть выполнены меньше, легче и значительно более надежно, чем при обычном монтаже.

Не следует, разумеется, закрывать глаза и на некоторые принципиальные недостатки, свойственные аппаратуре, изготавливаемой методом печатных схем. Так, например, исправление брака в процессе производства затрудняется и может оказаться вообще экономически невыгодным, так как стоимость ручных операций по исправлению брака может оказаться сравнимой со стоимостью «печатного» аппарата; ремонт печатной аппаратуры в эксплуатационных условиях также связан с затруднениями, и потребуются разработка специальной техники такого ремонта. Изготовление конденсаторов большой емкости (тысячи микромикрофарад и выше) и больших катушек индуктивности (для диапазонов длинных и средних волн) осложняется и т. п.

Тем не менее с полным основанием можно ожидать, что в недалеком будущем после доработки во всех деталях новой технологии и после преодоления обычных трудностей, сопутствующих переходу на новую технику, печатные схемы прочно войдут в практику радиопромышленности и будут способствовать дальнейшему совершенствованию радиоаппаратуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Техника печатания схем, под редакцией К. Н. Трофимова, «Советское радио», 1948.
 2. С. М. Плахотник, Технология производства радиоаппаратуры, Госэнергоиздат, 1949.
 3. Д. С. Абрамсон, Получение плотнопристающего металлического покрытия на изоляционных основаниях, «Промышленность органической химии», 1940, т. VII, № 11.
 4. Беспроволочный монтаж, «Радио», 1947, № 12.
 5. Печатание схем, «Радио», 1948, № 6.
 6. Ф. Евтеев, Детекторный приемник нового типа, «Радио», 1949, № 11.
 7. А. Глебов, Миниатюрная радиоаппаратура, «Военный связист», 1947, № 1.
-

Цена 1 р. 70 к.
прейскуранту 1952 г.

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

Москва, Шлюзовая набережная, дом 10

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

под общей редакцией академика А. И. БЕРГА

ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ И ПОСТУПИЛИ В ПРОДАЖУ

ВОВЧЕНКО В. С., Любительский телевизионный центр, стр. 72, ц. 2 р. 10 к.

ГЕРАСИМОВ С. М., Расчет радиолюбительских приемников, стр. 144, ц. 4 р. 50 к.

ЕНЮТИН В. В., Шестнадцать радиолюбительских схем. Второе издание переработанное, стр. 120, ц. 3 р. 50 к.

ЗАРВА В. А., Магнитные явления, стр., 112, ц. 3 р. 25 к.

КЛЕМЕНТЬЕВ С. Д., Модели, управляемые по радио, стр. 88, ц. 2 р. 50 к.

НЕЙМАН С. А., Защита радиоприема от помех, стр. 80, ц. 2 р. 15 к.

Справочная книжка радиолюбителя под редакцией В. И. Шамшура, стр. 320, ц. 17 р.

СУТЯГИН В. Я., Любительский телевизор, стр. 72, ц. 2 р. 10 к.

ТРАСКИН К. А., Радиолокационная техника и ее применение, стр. 96, ц. 2 р. 85 к.

ФЕЙГЕЛЬС В. З., Нелинейные системы в радиотехнике, стр. 72, ц. 2 р. 20 к.

ХАЙКИН С. З., Словарь радиолюбителя, стр. 320, ц. 15 р. 50 к.

ШУЛЬГИН К. А., Конструирование любительских коротковолновых передатчиков, стр. 135, ц. 4 р. 10 к.

**ПРОДАЖА ВО ВСЕХ КНИЖНЫХ МАГАЗИНАХ
И КИОСКАХ**
